



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Emanuel Raul Madureira Pinheiro Pereira de Oliveira

**Aumento da Produtividade em Células de
Produção numa Empresa de Componentes
Eletrónicos**

Tese de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes do Grau
de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Rui Manuel Sousa

Janeiro de 2013



Nome: Emanuel Raul Madureira Pinheiro Pereira de Oliveira

Nº Cartão Cidadão /BI: 13544877 Tel./Telem.: 913106205

Correio electrónico: emanuel_oliveira@live.com.pt

Curso MIEGI Ano de conclusão da dissertação: 2012/2013

Área de Especialização: Gestão Industrial

Escola de Engenharia, Departamento/Centro: Produção e Sistemas

TÍTULO DISSERTAÇÃO/TRABALHO DE PROJECTO:

Título em PT : Aumento da Produtividade em Células de Produção numa Empresa de Componentes Eletrónicos

Título em EN : Productivity increase on production cells in an Electronic Components Company

Orientadores : Professor Doutor Rui Manuel Sousa

Declaro sob compromisso de honra que a dissertação/trabalho de projecto agora entregue corresponde à que foi aprovada pelo júri constituído pela Universidade do Minho.

Declaro que concedo à Universidade do Minho e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha dissertação/trabalho de projecto, em suporte digital.

Concordo que a minha dissertação/trabalho de projecto seja colocada no repositório da Universidade do Minho com o seguinte estatuto (assinale um):

1. ☐ Disponibilização imediata do trabalho para acesso universal;
2. ☐ Disponibilização do trabalho para acesso exclusivo na Universidade do Minho durante o período de ☐ 1 ano, ☐ 2 anos ou ☐ 3 anos, sendo que após o tempo assinalado autorizo o acesso universal.
3. ☐ Disponibilização do trabalho de acordo com o **Despacho RT-98/2010 c)** (embargo___ anos)

Braga/Guimarães, ____ / ____ / ____

Assinatura: _____



Aos meus Pais,

À minha Irmã

E à Helena.



AGRADECIMENTOS

Finalizado este trabalho, lembro todo o caminho que percorri até aqui, as pessoas com que me cruzei e às quais não posso deixar o meu sincero e humilde agradecimento, porque todos sem exceção contribuíram para o meu bem-estar durante este tempo, e sem as quais não tinha conseguido ultrapassar esta meta.

Aos meus pais e à minha irmã, que sempre me acompanharam e deram força apesar de todos os maus momentos que atravessamos e apesar da distância que se instalou entre nós. Mana, tenho muitas saudades tuas.

Ao Professor Doutor Rui Sousa, pela disponibilidade, paciência e orientação, pelas conversas que tanto me ajudaram e me deram confiança para a elaboração desta dissertação, os meus sinceros agradecimentos.

À *General Electric Power Control*, pela oportunidade que eu tanto procurava e que finalmente acabou por aparecer e me ser concedida, sem a qual jamais teria realizado este projeto.

Ao Engenheiro Rui Amaro, Líder do Departamento de *Lean* e Manutenção, pelo acompanhamento, incentivo constante e desafios colocados, que me ajudaram a ir além dos meus medos, que contribuiu para que eu hoje acreditasse mais em mim, e me tornasse um melhor profissional. O meu Muito Obrigado!

Aos Engenheiros Rui Coelho, Vitor Neves e Filipe Covasrrubias, pela experiência partilhada, pela preciosa ajuda sempre disponibilizada e pela forma tão simples como me trataram, o meu sincero Obrigado!

Aos restantes operadores da GE, pela disponibilidade, simpatia, recetividade e ajuda que sempre tiveram para comigo.

Aos meus colegas de estágio, Engenheiro Carlos Gonçalves e Engenheiro João Loureiro, pelo companheirismo demonstrado, pelo espírito de grupo e entreajuda porque sempre primámos, em especial ao João Loureiro por todas as ideias, momentos, discussões e conversas, que me ajudaram a ultrapassar adversidades e a tornar-me uma pessoa melhor.

Por fim, um reconhecimento à Helena Ribeiro, que sempre me avisou, que sempre me acompanhou, e que sempre me incentivou, assim como tudo o que de especial representa para mim. Muito Obrigado!



RESUMO

A presente dissertação de mestrado descreve o desenvolvimento de um projeto realizado na empresa *General Electric Power Controls*, no âmbito da conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, do Departamento de Produção e Sistemas, da Universidade do Minho.

O principal objetivo foi a melhoria da performance produtiva das sete células de produção da secção produtiva dos disjuntores bipolares, no sentido de responder a uma procura diária de 2100 disjuntores. Para este fim foram desenvolvidas propostas de melhoria enquadradas na filosofia *Lean Manufacturing*, e nas diversas ferramentas que lhe estão associadas.

Nesta dissertação foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o *Lean Manufacturing*, em termos de origem, princípios e pilares em que assenta, principais desperdícios e principais ferramentas para a identificação e eliminação destes últimos. Houve lugar também para uma revisão às células de produção, onde se abordaram as respetivas configurações, de uma perspetiva conceptual e operacional, os modos operatórios existentes e as condições que trazem maior vantagem à aplicação destes, finalizando com as vantagens e desvantagens das células de produção. Após a revisão bibliográfica, foi descrita a empresa onde este projeto ocorreu, sendo referido o seu historial, produtos, clientes e fornecedores, e os fatores de produção de que dispõe. Para finalizar a apresentação da empresa, foi descrito o seu *layout*.

Em seguida foi efetuada a descrição e análise do processo produtivo dos disjuntores bipolares, a qual teve maior ênfase no processo produtivo ao nível das células de produção. Esta análise permitiu a identificação de problemas e desperdícios, nomeadamente o balanceamento desadequado, a danificação e perda de componentes, a má calibração térmica, e a inexistência de um padrão na disposição dos componentes nos postos de trabalho. Para solucionar estes problemas foram elaboradas propostas de melhoria que recorrem a ferramentas *Lean Manufacturing*, como o *Value Stream Mapping*, *Standard Work*, Gestão Visual, 5S, SMED, *Kaizen* e *Poka Yoke*. Desta forma foi possível reduzir alguns desperdícios ao nível de componentes danificados, *setup* das células, abastecimento incorreto, e ainda a simplificação do processo produtivo com a introdução de mecanismos que facilitam as operações.

As diversas propostas implementadas resultaram na conceção da célula Épsilon, o novo modelo para as células de produção, a qual viabiliza um aumento da produtividade de 11,3 disjuntores/hora.homem para 12,2 disjuntores/hora.homem, a aproximação do tempo de ciclo a um *Takt Time* igual a 88,2 segundos, a redução do *Lead Time* de 690,2 segundos para 252,5 segundos, e a diminuição do WIP de 7 disjuntores para 3 disjuntores. No que à qualidade diz respeito, foi reduzida a percentagem de erros do tipo DT1 de 15% para 0,36%, o que representa 127 rejeições numa amostra de 33200 disjuntores bipolares, após as melhorias implementadas.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*, *Kaizen*, Célula de Produção, *Takt Time*, Melhoria Contínua.



ABSTRACT

The present master dissertation describes the development of a project in collaboration with General Electric Power Controls, under the completion of Integrated Master's in Industrial Management and Engineering, of the Production and Systems Department, of Minho University.

The main objective was to improve the output performance of the seven production cells of the productive section of the bipolar circuit breakers in order to respond to a daily demand of 2100 breakers. To achieve this result improvement proposals bracketed in the Lean Manufacturing philosophy and in the various associated tools were developed.

Within this dissertation, a literature review was conducted on Lean Manufacturing in terms of origin, principles and pillars, main wastes and main tools to the identification and elimination of the latters. There was also place for a revision about production cells, where the respective configurations were addressed, from a conceptual and operational perspective, the existing operational modes and the conditions of greatest benefit to implementing them, ending with the advantages and disadvantages of production cells. After the literature review, the company where this project took place was presented, being referred his history, products, customers and suppliers, and the factors of production available to it. To finalize the company presentation, its layout was described.

Then a detailed description and analysis of the productive process of the bipolar circuit breaker was performed, having a greater emphasis on the productive process at the level of the production cells. This analysis allowed the identification of problems and waste, including the inadequate balancing, the damage and loss of components, poor thermal calibration, and the lack of a standardized disposal of the components on the work stations. To solve these problems, improvement proposals were developed, which consisted on Lean Manufacturing tools such as Value Stream Mapping, Standard Work, Visual Management, 5S, SMED, Kaizen and Poke Yoke. Thus it was possible to reduce the wastes at the level of damaged components, cell setup, incorrect supply, and the simplification of the productive process with the introduction of mechanisms that facilitate the operations.

The various proposals implemented resulted in the design of the Epsilon cell, the new model for the production cells, which enables an increase on productivity from 11,3 breakers/man.hours to 12,2 breakers/man.hours, the approximation of the cycle time to a Takt Time of 88,2 seconds, the reduction of the Lead Time from 690,2 seconds to 252,5 seconds, and the decrease in WIP from 8 circuit breakers for 3 circuit breakers. With respect to the quality, the percentage of the DT1 type errors were reduced from 15% to 0,36%, this represents 127 rejections on a sample of 33200 bipolar circuit breakers, after the improvements implemented.

Keywords: Lean Manufacturing, Kaizen, Production Cell, Takt Time, Continuous Improvement.



ÍNDICE

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| AGRADECIMENTOS | v |
| RESUMO | vii |
| ABSTRACT | ix |
| ÍNDICE | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xv |
| ÍNDICE DE TABELAS | xix |
| LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS | xxi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. ENQUADRAMENTO | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS | 1 |
| 1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO | 2 |
| 1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO | 3 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 2.1. <i>LEAN MANUFACTURING</i> | 5 |
| 2.1.1. PRINCÍPIOS DO <i>LEAN MANUFACTURING</i> | 6 |
| 2.1.2. OS SETE DESPERDÍCIOS | 7 |
| 2.2. FERRAMENTAS E TÉCNICAS DO <i>LEAN MANUFACTURING</i> | 8 |
| 2.2.1. GESTÃO VISUAL | 9 |
| 2.2.2. TÉCNICA 5S | 10 |
| 2.2.3. <i>STANDARD WORK</i> | 11 |
| 2.2.4. <i>JUST-IN-TIME</i> | 11 |
| 2.2.5. <i>KANBAN</i> | 11 |
| 2.2.6. <i>JIDOKA</i> | 12 |
| 2.2.7. <i>TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE</i> | 13 |
| 2.2.8. <i>SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE</i> | 13 |
| 2.2.9. <i>KAIZEN</i> | 14 |
| 2.2.10. <i>VALUE STREAM MAPPING</i> | 16 |
| 2.3. CÉLULAS DE PRODUÇÃO | 17 |
| 2.3.1. CONFIGURAÇÕES CONCEPTUAIS | 18 |
| 2.3.2. CONFIGURAÇÕES OPERACIONAIS | 19 |
| 2.3.3. MODOS OPERATÓRIOS | 20 |
| 2.3.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS | 23 |
| 2.4. ANÁLISE CRÍTICA | 24 |
| 3. EMPRESA | 27 |
| 3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA | 27 |

| | | |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2. | HISTORIAL DA EMPRESA | 28 |
| 3.3. | PRODUTOS..... | 29 |
| 3.3.1. | TOMADAS E MECANISMOS | 29 |
| 3.3.2. | DISJUNTORES | 29 |
| 3.4. | CLIENTES E CONCORRENTES | 32 |
| 3.5. | FATORES DE PRODUÇÃO..... | 32 |
| 3.6. | PLANEAMENTO DA PRODUÇÃO | 33 |
| 3.7. | DESCRIÇÃO DO <i>LAYOUT</i> DA EMPRESA | 34 |
| 3.7.1. | DESCRIÇÃO DO PRIMEIRO PISO | 34 |
| 3.7.2. | DESCRIÇÃO DO SEGUNDO PISO..... | 38 |
| 4. | DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO SISTEMA PRODUTIVO DOS DISJUNTORES BIPOLARES | 41 |
| 4.1. | DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO PRODUTIVO E FLUXO DE MATERIAIS | 41 |
| 4.2. | DESCRIÇÃO E ANÁLISE DA CÉLULA DE PRODUÇÃO | 44 |
| 4.2.1. | POSTO DE TRABALHO 1 | 47 |
| 4.2.2. | POSTO DE TRABALHO 2 | 49 |
| 4.2.3. | POSTO DE TRABALHO 3 | 50 |
| 4.2.4. | POSTO DE TRABALHO 4 | 52 |
| 4.2.5. | POSTO DE TRABALHO 5 | 53 |
| 4.2.6. | POSTO DE TRABALHO 6 | 55 |
| 4.2.7. | POSTO DE TRABALHO 7 | 56 |
| 4.2.8. | PONTOS DE CONTROLO NA CÉLULA..... | 57 |
| 4.2.9. | ABASTECIMENTO DA CÉLULA | 59 |
| 4.3. | IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS..... | 61 |
| 4.3.1. | PRODUÇÃO EMPURRADA | 62 |
| 4.3.2. | MODO OPERATÓRIO DESADEQUADO | 62 |
| 4.3.3. | FALTA DE NORMALIZAÇÃO NA DISPOSIÇÃO DE COMPONENTES | 63 |
| 4.3.4. | FALTA DE ORGANIZAÇÃO NO RETORNO DE CONTENTORES DE COMPONENTES VAZIOS..... | 64 |
| 4.3.5. | FALTA DE QUALIDADE DOS DISJUNTORES | 65 |
| 4.3.6. | BAIXA PRODUTIVIDADE DAS CÉLULAS DE PRODUÇÃO | 66 |
| 4.4. | SÍNTESE DOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS | 66 |
| 5. | AÇÕES DE MELHORIA | 69 |
| 5.1. | REDUÇÃO DO NÚMERO DE DEFEITOS DO TIPO DT1 | 69 |
| 5.1.1. | FORMAÇÃO ÀS OPERADORAS | 69 |
| 5.1.2. | ALTERAÇÃO DO CALIBRE..... | 69 |
| 5.1.3. | NORMALIZAÇÃO DO APERTO | 70 |
| 5.2. | DISPOSIÇÃO DOS CONJUNTOS DAS SOLDADURAS | 71 |



| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3. | PRÉ-MONTAGEM DOS CONJUNTOS DAS SOLDADURAS | 71 |
| 5.4. | JIG MÓVEL | 72 |
| 5.5. | SISTEMA DE DESLIZE PARA O FERRO DE SOLDAR | 73 |
| 5.6. | MECANISMO DE LUBRIFICAÇÃO | 74 |
| 5.7. | TROCA DO CONTENTOR PARA AS CÂMARAS DE EXTINÇÃO | 75 |
| 5.8. | CONTENTOR DAS TRANSMISSÕES TÉRMICAS..... | 75 |
| 5.9. | PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO DA CÉLULA PILOTO..... | 76 |
| 5.9.1. | LAYOUT DA CÉLULA..... | 77 |
| 5.9.2. | EQUILIBRAGEM DOS POSTOS DE TRABALHO | 78 |
| 5.9.3. | NORMALIZAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DOS COMPONENTES NOS POSTOS DE TRABALHO | 79 |
| 5.9.4. | ABASTECIMENTO DA CÉLULA | 80 |
| 5.9.5. | ORGANIZAÇÃO INTERCELULAR..... | 83 |
| 6. | ANÁLISE DE RESULTADOS | 85 |
| 6.1. | EVENTO <i>KAIZEN – ACTION WORKOUT</i> | 85 |
| 6.2. | PRODUTIVIDADE | 86 |
| 6.3. | TAXA DE PRODUÇÃO..... | 86 |
| 6.4. | TEMPO DE CICLO..... | 87 |
| 6.5. | LEAD TIME..... | 88 |
| 6.6. | WIP | 88 |
| 6.7. | RESULTADOS FINANCEIROS | 88 |
| 6.8. | SÍNTESE DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO DA NOVA CÉLULA | 89 |
| 6.9. | PRINCIPAIS GANHOS COM O NOVO MODELO DE CÉLULAS | 90 |
| 6.10. | DIFICULDADES NA IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS | 90 |
| 7. | CONCLUSÕES | 93 |
| 7.1. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 93 |
| 7.2. | TRABALHO FUTURO..... | 94 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 95 |
| | ANEXOS | 99 |
| | ANEXO 1 – CRONOLOGIA DO <i>LEAN MANUFACTURING</i> | 100 |
| | ANEXO 2 – OS SETE TIPOS DE DESPERDÍCIO | 101 |
| | ANEXO 3 – <i>KIT</i> SIMPLES DE FERRAMENTAS LEAN..... | 102 |
| | ANEXO 4 – VANTAGENS DAS CÉLULAS | 103 |
| | ANEXO 5 – ORGANIGRAMA DA EMPRESA | 104 |
| | ANEXO 6 – MATRIZ DE COMPETÊNCIAS..... | 105 |
| | ANEXO 7 – LISTA DE DEFEITOS..... | 106 |
| | ANEXO 8 – VSM DO ESTADO INICIAL E FUTURO..... | 113 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ANEXO 9 – TEMPO DE CICLO DO ANO 2011..... | 115 |
| ANEXO 10 – CONTABILIZAÇÃO DO PROJETO DE REBITES..... | 116 |
| ANEXO 11 – <i>STANDARD WORK COMBINATION SHEET</i> PARA O DISJUNTOR 2P1545S | 118 |
| ANEXO 12 – DISPOSIÇÃO DE COMPONENTES NAS CÉLULAS..... | 121 |
| ANEXO 13 – DISPOSIÇÃO NORMALIZADA DE COMPONENTES | 124 |
| ANEXO 14 – CUSTO DOS MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DAS NOVAS CÉLULAS | 127 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – <i>The action research spiral</i> (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2009)..... | 2 |
| Figura 2 – Princípios do <i>Lean Manufacturing</i> | 6 |
| Figura 3 – Valor no processo produtivo..... | 6 |
| Figura 4 – Os Sete <i>Muda's</i> , adaptado de (Melton, 2005) | 7 |
| Figura 5 – Casa TPS (Liker, 2004)..... | 9 |
| Figura 6 – Exemplo de <i>Andon System</i> (Werma UK Ltd, 2012)..... | 10 |
| Figura 7 – Exemplo de cartão <i>Kanban</i> (Synerflex Consulting International , 2009) | 12 |
| Figura 8 – Ciclo PDCA | 15 |
| Figura 9 – Relação dos sistemas de produção em função da quantidade e variedade, (Alves, 2007) | 17 |
| Figura 10 – Tipos de fluxo intracelular, (Alves, 2007) | 19 |
| Figura 11 – Representação do modo operatório <i>Working Balance</i> , adaptado de (Alves, 2007) | 20 |
| Figura 12 – Representação do modo operatório <i>Rabbit Chase</i> , adaptado de (Alves, 2007) | 21 |
| Figura 13 – Representação do modo operatório <i>Toyota Sewing System</i> , adaptado de (Alves, 2007) | 21 |
| Figura 14 – Representação do modo operatório <i>Baton-Touch</i> , adaptado de (Alves, 2007) | 22 |
| Figura 15 – Representação do modo operatório <i>Bucket-Brigades</i> , adaptado de (Alves, 2007) | 22 |
| Figura 16 – Benefícios do <i>Lean</i> , adaptado de (Melton, 2005)..... | 25 |
| Figura 17 – Localização da Empresa no Candal Parque..... | 27 |
| Figura 18 – Tipos de Produtos..... | 29 |
| Figura 19 – Componentes do Disparo Térmico | 30 |
| Figura 20 – Componentes do Disparo Magnético | 30 |
| Figura 21 – Relé do tipo S..... | 30 |
| Figura 22 – Relé do tipo AC..... | 30 |
| Figura 23 – Tipos de disjuntores bipolares..... | 31 |
| Figura 24 - Calibração da intensidade de corrente num Disjuntor Bipolar | 32 |
| Figura 25 – Concorrentes da GE..... | 32 |
| Figura 26 – Principais Clientes | 32 |
| Figura 27 – Planta da GE..... | 34 |
| Figura 28 – Secção “Plásticos” | 35 |
| Figura 29 – Secção “Metais” | 35 |
| Figura 30 – Secção “Wiring” | 35 |
| Figura 31 – Escritórios..... | 36 |
| Figura 32 – Manutenção | 36 |
| Figura 33 – Armazém | 36 |
| Figura 34 – Departamento de Qualidade e zona de “ <i>Inbound</i> ” | 37 |
| Figura 35 – <i>Lean Moonshine Shop</i> | 37 |
| Figura 36 – Secção “Reparação” | 38 |
| Figura 37 – Produção de disjuntores bipolares..... | 38 |
| Figura 38 – Produção de disjuntores tetrapolares..... | 38 |
| Figura 39 – Soldaduras..... | 39 |
| Figura 40 – Linha de testes bipolar | 39 |
| Figura 41 – Linha de testes tetrapolar (Hytron) | 39 |
| Figura 42 – Embalagem..... | 39 |
| Figura 43 – Laboratório | 39 |
| Figura 44 – Engenharia de processo e direção da produção | 40 |
| Figura 45 – Gabinete de planeamento, controlo e monitorização da produção..... | 40 |
| Figura 46 – Fluxo de materiais para a produção de disjuntores bipolares | 42 |
| Figura 47 – Representação gráfica da Análise ABC em relação à quantidade de produtos | 43 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 48 – Representação gráfica da Análise ABC em relação ao valor | 44 |
| Figura 49 – Célula Beta | 45 |
| Figura 50 – Célula Zeta..... | 45 |
| Figura 51 – <i>Layout</i> da célula Beta..... | 45 |
| Figura 52 – <i>Layout</i> das restantes células..... | 45 |
| Figura 53 – Gráfico de Análise de Processo..... | 45 |
| Figura 54 – VSM da célula de produção, excerto do VSM do estado inicial | 46 |
| Figura 55 – Posto de Trabalho 1..... | 47 |
| Figura 56 – Conjunto montado à saída do PT1 | 47 |
| Figura 57 – Componentes consumidos no PT1..... | 48 |
| Figura 58 – Posto de Trabalho 2..... | 49 |
| Figura 59 – Conjunto montado à saída do PT2 | 49 |
| Figura 60 – Componentes Consumidos no PT2 | 49 |
| Figura 61 – Posto de Trabalho 3..... | 50 |
| Figura 62 – Conjunto montado à saída do PT3 | 50 |
| Figura 63 – Componentes consumidos no PT3..... | 51 |
| Figura 64 – Posto de Trabalho 4..... | 52 |
| Figura 65 – Conjunto montado à saída do PT4 | 52 |
| Figura 66 – Componentes consumidos no PT4..... | 53 |
| Figura 67 – Posto de Trabalho 5..... | 54 |
| Figura 68 – Disjuntor montado à saída do PT5 | 54 |
| Figura 69 – Componente consumido no PT5..... | 54 |
| Figura 70 – Posto de Trabalho 6..... | 55 |
| Figura 71 – Disjuntor montado à saída do PT6 | 55 |
| Figura 72 – Componentes consumidos no PT6..... | 55 |
| Figura 73 – Posto de Trabalho 7..... | 56 |
| Figura 74 – Disjuntor finalizado à saída do PT7 | 56 |
| Figura 75 – Componente consumido no PT7 | 56 |
| Figura 76 – Calibração do Bimetal..... | 57 |
| Figura 77 – Controlo da Qualidade das Soldas..... | 58 |
| Figura 78 – Teste de Continuidade | 58 |
| Figura 79 – Controlo da força de disparo do disjuntor | 58 |
| Figura 80 – Colocação da Tampa 104 Especial | 58 |
| Figura 81 – Local de trabalho da Operadora 1 | 59 |
| Figura 82 – Local de trabalho das Operadoras 2 e 3 | 60 |
| Figura 83 – Local de trabalho da Operadora 2..... | 60 |
| Figura 84 – Vista do PT1 de fora da célula | 60 |
| Figura 85 – Gráfico comparativo do TT e TC dos PT | 61 |
| Figura 86 – Gráfico comparativo do TT e TC das Operadoras | 62 |
| Figura 87 – Apresentação de componentes no PT1..... | 63 |
| Figura 88 – Apresentação de componentes no PT2..... | 63 |
| Figura 89 – Apresentação de componentes no PT3..... | 64 |
| Figura 90 – Apresentação de Componentes no PT4 | 64 |
| Figura 91 – Sistema de troca de contentores no PT5 e PT6 | 64 |
| Figura 92 – Bordo de linha e contentores vazios no PT3 e PT2 | 65 |
| Figura 93 – Gráfico de Pareto dos tipos de defeitos dos disjuntores bipolares..... | 65 |
| Figura 94 – Diagrama de Ishikawa para a baixa produtividade | 66 |
| Figura 95 – Calibração antes do <i>Kaizen</i> | 69 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 96 – Calibração depois do <i>Kaizen</i> | 69 |
| Figura 97 – Roscar parafuso antes da melhoria | 70 |
| Figura 98 – Roscar parafuso depois da melhoria..... | 70 |
| Figura 99 – Operação de controlo da posição do parafuso | 70 |
| Figura 100 – Conjuntos Térmicos | 71 |
| Figura 101 – Conjuntos Neutros | 71 |
| Figura 102 – Conjunto Térmico pré-montado..... | 72 |
| Figura 103 – Conjunto Neutro pré-montado..... | 72 |
| Figura 104 – JIG Móvel implementado no PT2 e PT3 | 72 |
| Figura 105 – Rotação do JIG no PT3..... | 73 |
| Figura 106 – PT4 e PT5..... | 74 |
| Figura 107 – Detalhe do ferro de soldar | 74 |
| Figura 108 – Mecanismo de Lubrificação | 74 |
| Figura 109 – Câmaras de Extinção antes da melhoria..... | 75 |
| Figura 110 – Câmaras de Extinção depois da melhoria | 75 |
| Figura 111 – Contentor das Transmissões Térmicas | 76 |
| Figura 112 – Protótipo de contentor para Transmissões Térmicas..... | 76 |
| Figura 113 – Novo contentor para Transmissões Térmicas | 76 |
| Figura 114 – Célula Delta | 77 |
| Figura 115 – Célula Épsilon | 77 |
| Figura 116 – a) <i>Layout</i> da célula Delta; b) <i>Layout</i> da célula Épsilon | 77 |
| Figura 117 – Representação gráfica da equilibragem para as novas células | 79 |
| Figura 118 – Aspeto final do PT1 (Célula Épsilon) | 80 |
| Figura 119 – Aspeto final do PT2 e PT3 (Célula Épsilon)..... | 80 |
| Figura 120 – Aspeto final do PT4 e PT5 (Célula Épsilon)..... | 80 |
| Figura 121 – Aspeto final do PT6 e PT7 (Célula Épsilon)..... | 80 |
| Figura 122 – Etiqueta para identificação de componentes | 81 |
| Figura 123 – Funil para o abastecimento | 81 |
| Figura 124 – Abastecimento da célula com o funil | 81 |
| Figura 125 – Retorno de contentor vazio no PT1 | 82 |
| Figura 126 – Retorno de contentor vazio no PT3..... | 82 |
| Figura 127 – Sistema para o Abastecimento dos Relés..... | 82 |
| Figura 128 – Mecanismo Manual para a Troca de Contentores no PT5 e PT6 | 83 |
| Figura 129 – Troca de contentor, Posição 1 | 83 |
| Figura 130 – Troca de contentor, Posição 2 | 83 |
| Figura 131 – Layout Intercelular | 84 |
| Figura 132 – Representação gráfica da Produtividade da célula Delta | 86 |
| Figura 133 – Representação gráfica da Taxa de Produção da célula Delta..... | 87 |
| Figura 134 – Equilibragem da Célula | 87 |
| Figura 135 – VSM da nova célula de produção, excerto do VSM do Estado Futuro | 88 |
| Figura 136 – Cronologia do <i>Lean Manufacturing</i> , adaptado de (Holweg, 2007) | 100 |
| Figura 137 – <i>The Seven Types of Waste</i> (Melton, 2005) | 101 |
| Figura 138 – <i>A Sample "Lean" Toolkit</i> (Melton, 2005)..... | 102 |
| Figura 140 – Organigrama da Empresa..... | 104 |
| Figura 141 – VSM do Estado Inicial | 113 |
| Figura 142 – VSM do Estado Futuro..... | 114 |
| Figura 143 – SWCS do modelo 2P1545S para a Operadora 1..... | 118 |
| Figura 144 – SWCS do modelo 2P1545S para a Operadora 2..... | 119 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 145 – SWCS do modelo 2P1545S para a Operadora 3..... | 120 |
| Figura 146 – Disposição normalizada de componentes no PT1 | 124 |
| Figura 147 – Disposição normalizada de componentes no PT2 | 124 |
| Figura 148 – Disposição normalizada de componentes no PT3 | 125 |
| Figura 149 – Disposição normalizada de componentes no PT4 | 125 |



ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Comparação dos modos operatórios, adaptado de (Alves, 2007) | 23 |
| Tabela 2 – Dados da Empresa (Elnorma, 2012) | 27 |
| Tabela 3 – Norma para a produção bipolar..... | 31 |
| Tabela 4 – Análise ABC em relação à quantidade de produtos | 43 |
| Tabela 5 – Análise ABC em relação ao valor | 44 |
| Tabela 6 – Descrição das operações identificadas no gráfico de Análise de Processo | 46 |
| Tabela 7 – Medidas de desempenho da Célula Beta..... | 47 |
| Tabela 8 – Operações elementares do PT1..... | 48 |
| Tabela 9 – Operações Elementares do PT2 | 50 |
| Tabela 10 – Operações elementares do PT3..... | 51 |
| Tabela 11 – Operações elementares do PT4..... | 53 |
| Tabela 12 – Operações elementares do PT5..... | 54 |
| Tabela 13 – Operações elementares do PT6..... | 55 |
| Tabela 14 – Operações elementares do PT7..... | 57 |
| Tabela 15 – Síntese dos problemas identificados | 67 |
| Tabela 16 – Resultados AWO | 86 |
| Tabela 17 – Contabilização de custos num ano para Transmissões Térmicas..... | 89 |
| Tabela 18 – Comparação das medidas de desempenho | 90 |
| Tabela 19 – Vantagens das Células, adaptado de (Burbidge, 1996)..... | 103 |
| Tabela 20 – Matriz de Competências ILUO | 105 |
| Tabela 21 – Lista de Defeitos | 106 |
| Tabela 22 – Cálculo do <i>Takt Time</i> do Ano 2011..... | 115 |
| Tabela 23 – Contabilização do projeto de Rebites | 116 |
| Tabela 24 – Posição dos componentes no PT1 de cada célula | 121 |
| Tabela 25 – Posição dos componentes no PT2 de cada célula | 121 |
| Tabela 26 – Posição dos componentes no PT3 de cada célula | 122 |
| Tabela 27 – Posição dos componentes no PT3 de cada célula | 122 |
| Tabela 28 – Contabilização do Custo dos Materiais para construir as Novas Células..... | 127 |



LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

| | |
|-------------|----------------------------------------|
| AWO | <i>Action Workout</i> |
| CSM | <i>Current State Map</i> |
| ELCB | <i>Earth Leakage Circuit Breaker</i> |
| FIFO | <i>First-in-first-out</i> |
| FSM | <i>Future State Map</i> |
| GE | <i>General Electric</i> |
| IT | Instrução de Trabalho |
| JIT | <i>Just-In-Time</i> |
| LM | <i>Lean Manufacturing</i> |
| LT | <i>Lead Time</i> |
| MTO | <i>Make-To-Order</i> |
| MTS | <i>Make-To-Stock</i> |
| PDCA | <i>Plan-Do-Check-Act</i> |
| PT | Posto(s) de Trabalho |
| SMED | <i>Single Minute Exchange of Die</i> |
| OPF | <i>One-Piece Flow</i> |
| SWCS | <i>Standard Work Combination Sheet</i> |
| TC | Tempo de Ciclo |
| TPM | <i>Total Productive Maintenance</i> |
| TPS | <i>Toyota Production System</i> |
| TT | <i>Takt Time</i> |
| VSM | <i>Value Stream Mapping</i> |
| WIP | <i>Work-In-Process</i> |



1. INTRODUÇÃO

Este capítulo é referente à introdução do trabalho e contempla o enquadramento do mesmo, os objetivos delineados, a metodologia utilizada, finalizando com a estruturação desta dissertação.

1.1. ENQUADRAMENTO

É no âmbito da dissertação de mestrado, do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial (MIEGI), da Universidade do Minho, que este projeto se enquadra, tendo sido desenvolvido ao longo do 2º semestre do 5º ano, no ano letivo 2011/2012. O projeto foi realizado na empresa Genereal Electric (GE) Power Controls Portugal – Unipessoal, Lda.

Face a atual situação económica mundial, onde cada vez mais se vive no amanhã, as empresas são confrontadas com a necessidade de evoluir e tornarem-se melhores no sentido de satisfazer o mercado cada vez mais exigente, peculiar e imprevisível, ao mesmo tempo que combatem os seus concorrentes pela preferência do cliente. Para isso estas procuram o caminho da perfeição, pela conjugação da eficiência e eficácia produtiva, que se traduz na capacidade de fazer mais com menos recursos, num menor espaço de tempo, sem descurar na qualidade, evitando erros e desperdícios.

O *Lean Manufacturing* (LM) é o paradigma que viabiliza este estado, através das ferramentas de que dispõe. O seu *core* é a melhoria contínua – *kaizen* – conjugada com a eliminação das atividades que não acrescentam valor ao produto, ou seja, desperdícios.

No sentido da melhoria contínua a GE, após o projeto de implementação de células de produção no processo produtivo dos disjuntores bipolares, sentiu a necessidade de continuar com o processo de melhoria contínua, dada a alteração das exigências do mercado onde se insere. Assim surgiu o presente projeto, denominando “Aumento da Produtividade em Células de Produção numa Empresa de Componentes Eletrónicos” que visa a melhoria do processo produtivo da família de produtos “Disjuntores Bipolares” através da aplicação do paradigma LM e algumas das suas ferramentas.

1.2. OBJETIVOS

Para este projeto foi traçado o objetivo principal de melhorar a performance do sistema produtivo dos disjuntores bipolares, de modo a, usando sete células de produção durante um turno de 7,33 horas, conseguir satisfazer uma procura diária de 2100 disjuntores do tipo 2P1545S, que se traduz num *takt time* igual a 88,2 segundos.

Em prol deste propósito, assume-se a necessidade de atingir os seguintes objetivos secundários:

- Analisar o sistema produtivo tendo por fim a identificação de desperdícios;
- Definir e melhorar o novo processo produtivo;
- Avaliar a efetividade do modo operativo praticado;

- Desenvolver propostas de melhoria e aplicá-las se possível;
- Eliminar os desperdícios identificados;
- Dar a formação necessária aos operadores mediante as exigências das melhorias implementadas.

Para alcançar com êxito estes objetivos, será feito uso do paradigma LM, assim como das ferramentas mais pertinentes que lhe são associadas.

1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Para o sucesso deste projeto é necessária a escolha da metodologia de investigação mais indicada. Neste projeto foi utilizada a denominada metodologia Investigação-ação. Esta opção justifica-se pelo carácter de “aprender fazendo” intrínseco à metodologia, que dá ênfase à intervenção direta do investigador no campo de trabalho, promove a mudança na organização e é apropriada para responder a questões do tipo “como”.

Saunders, Lewis, & Thornhill (2009) destacam na literatura quatro aspetos principais que caracterizam esta metodologia. O primeiro foca e enfatiza o propósito da investigação, que deve ser uma investigação ativa ao invés da investigação da ação. O segundo aspeto salienta que os resultados da investigação-ação derivam do envolvimento dos membros da organização numa ação sobre um assunto de seu interesse, logo a existência de um ambiente colaborativo entre o investigador e os trabalhadores é um aspeto frutífero desta metodologia. Em terceiro a ressalva da natureza iterativa do seu processo (Figura 1), que parte da identificação clara do propósito e definição específica do contexto, ou seja, a definição do objetivo principal, referido na secção transata.

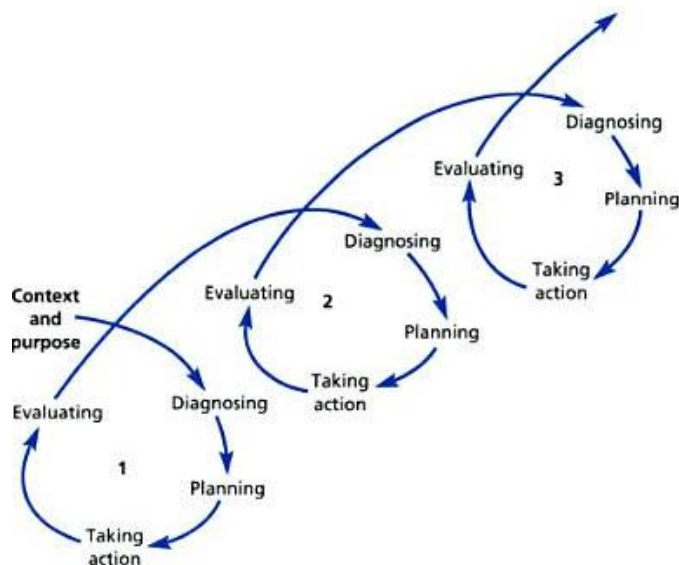


Figura 1 – *The action research spiral* (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2009)



Posto isto sucede-se a fase de diagnóstico, onde o sistema produtivo é avaliado por forma a identificar os problemas, para em seguida na fase de planeamento serem criadas medidas e ser escolhida a que mais resultados proporcionar. O passo que se segue é no sentido da implementação dessas medidas, fechando-se o ciclo com a respetiva avaliação de desempenho. Terminada a primeira iteração, a segunda inicia-se na fase de diagnóstico, tendo em conta os conhecimentos adquiridos na última etapa da iteração anterior.

O quarto aspeto sugere que os resultados devem ir além deste projeto, servindo outros propósitos, como por exemplo, futuros processos de investigação-ação académicos.

O desenrolar do projeto seguiu assim então as fases do processo iterativo da metodologia, sendo complementado pelas fases iniciais de definição de objetivos, escolha da metodologia a utilizar e pesquisa bibliográfica, e finalizando com a redação da presente dissertação.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em sete capítulos. O presente capítulo faz a introdução à dissertação, enquadra o projeto desenvolvido, enuncia os objetivos estabelecidos, caracteriza e justifica a metodologia de investigação utilizada e descreve a organização da dissertação. A este capítulo sucede a revisão bibliográfica inerente à fundamentação teórica do projeto. No terceiro capítulo é apresentada a empresa onde o projeto teve lugar, sendo feita alusão à sua história. Também aqui são apresentados os produtos fabricados e os principais clientes e concorrentes da empresa. Este capítulo é fechado com a identificação da estratégia de resposta à procura (ERP), com a exposição dos fatores de produção e com a descrição macroscópica do sistema produtivo. O quarto capítulo é dedicado à descrição detalhada e análise do processo produtivo, sendo identificados os principais problemas. Em seguida são apresentadas no capítulo cinco as propostas de melhoria desenvolvidas para colmatar alguns dos problemas encontrados. No capítulo seis são analisados os resultados obtidos com as propostas de melhoria implementadas. Em último lugar surge o sétimo capítulo onde tomam lugar as considerações finais ao projeto realizado e onde são deixadas indicações para o trabalho futuro. As referências bibliográficas e os anexos sucedem ao sétimo capítulo pela respetiva ordem.



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo diz respeito à revisão bibliográfica e começa por fazer uma breve introdução histórica ao LM, abordando em seguida os seus princípios e os desperdícios à sua perspetiva. Depois disso são identificadas e caracterizadas as ferramentas que fazem parte do LM, sendo o *kaizen* mais detalhado, uma vez que o presente trabalho incide sobre a melhoria contínua do processo produtivo, para em seguida ser estabelecida a ponte para as células de produção. Para finalizar, o autor apresenta a sua análise crítica perante o conteúdo referido.

2.1. LEAN MANUFACTURING

O termo *Lean Manufacturing* foi introduzido em 1990 no livro *The Machine That Changed The World* (Womack, Jones, & Roos), ultrapassando as barreiras culturais e tornando-se o paradigma produtivo mundialmente conhecido pela procura contínua do processo produtivo perfeito, através da eliminação do desperdício (Holweg, 2007). Desperdício é toda a atividade que não acrescenta valor aos produtos.

Embora o termo tenha surgido no início da década de 90, o nascimento da filosofia que este tem por base remonta a 1940, aquando da passagem de Taichii Ohno do sector de fiação e tecelagem para o sector automóvel na *Toyota* (Holweg, 2007). Mais informações cronológicas estão disponíveis no Anexo 1.

Eiji Toyoda estava determinado a implementar a produção em massa praticada no ocidente por Henry Ford, no entanto, restrições de capital e um mercado japonês de baixo volume não justificavam técnicas produtivas de lotes de grande tamanho. Eis então que são apontadas por Ohno as duas primeiras falácias deste sistema produtivo. Em primeiro a produção de grandes lotes resultava em grandes *stocks*, que por sua vez implicavam um grande custo de armazenamento, um grande espaço ocupado e maior número de defeitos aquando da sua deteção. A segunda falácia apontava à falta de diversidade do produto, facto que acabou por ter as suas consequências para Ford.

Assim com base no desejo de produzir num fluxo contínuo que não dependesse de longos ciclos de produção para ser eficiente, surgiu o *Toyota Production System* (TPS). Este reconhecia que apenas uma pequena fração do tempo total e esforço para processar um produto é que acrescentava valor para o cliente (Melton, 2005).

Num processo iterativo que durou anos o TPS cresceu e desenvolveu-se, destacando-se a sua capacidade de aprendizagem dinâmica, que faz dele um processo produtivo que precisa de metade do esforço humano, metade do espaço físico, metade do investimento e metade das horas de engenharia dedicadas para desenvolver um novo produto em metade do tempo (Melton, 2005).

2.1.1. PRINCÍPIOS DO *LEAN MANUFACTURING*

Os princípios do LM identificados por Womack & Jones (2003) são a especificação de valor, a identificação do fluxo de valor, a criação de fluxo, implementação de um sistema puxado quando a produção não é fluída e a procura da perfeição (melhoria contínua – *Kaizen*), numa relação que coloca a melhoria contínua como o núcleo do LM segundo Melton (2005), (Figura 2). Para melhor entender esta interação, cada princípio é descrito em seguida.

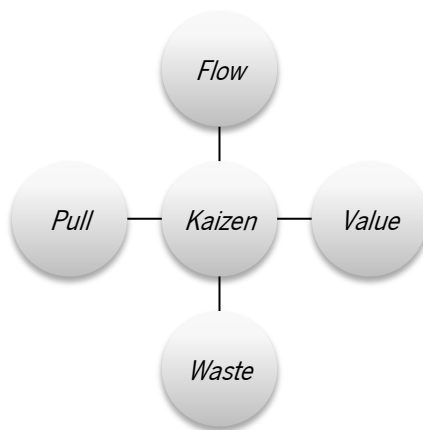


Figura 2 – Princípios do *Lean Manufacturing*

Valor (*Value*): O ponto de partida e primeiro desafio para a aplicação do LM, adquirir conhecimento sólido e detalhado daquilo que é valor para o cliente, aquilo pelo que ele está disposto a pagar pelo produto, e aquilo que é desperdício (Figura 3).



Figura 3 – Valor no processo produtivo

Fluxo de valor (*Value Stream*): A ligação entre todos os princípios inerentes ao LM. Identifica todos os eventos ou atividades que adicionam valor para o cliente. As atividades de suporte não são por este representadas, apenas etapas que acrescentam valor e as equipas multifuncionais envolvidas. Tudo o resto é desperdício, e como tal deve ser eliminado, restando somente a cadeia de valor.

Fluxo (Flow): O princípio que mais contradiz a produção em massa. Depois de identificado o valor e o desperdício, e tendo este último sido eliminado, procede-se à criação de fluxo produtivo, indo de encontro ao *One-Piece Flow* (OPF) ao passo que na produção em massa o fluxo é em lotes contrariamente à produção unitária. Pretende-se que o processo produtivo seja contínuo e organizado, evitando o desperdício.

Sistema puxado (Pull System): Garantido pelo uso de *Kanban's* (secção 2.2.5) que faz com que a produção seja puxada apenas quando necessário, por força da vontade do cliente, ao passo que num sistema empurrado (*Push System*) a produção é empurrada de posto em posto independentemente das necessidades do cliente. Deste modo, apenas se produz quando necessário na quantidade necessária evitando desperdícios (*Just-In-Time*, secção 2.2.4).

Melhoria contínua (Kaizen): A procura contínua do processo produtivo perfeito, livre de defeitos, por meio da eliminação destes e consequente melhoria dos outros princípios. Para muitas indústrias é considerada a mudança mais difícil, a implementação de uma cultura sustentável de melhoria contínua.

2.1.2. OS SETE DESPERDÍCIOS

Desperdício, ou Muda em japonês, é toda a atividade que consome recursos e não acrescenta valor para o cliente. No entanto, às vezes é uma parte necessária do processo e adiciona valor para a empresa, como por exemplo os controlos financeiros (Melton, 2005).

Ohno (1988) identificou 7 tipos de desperdício, apresentados na Figura 4, e descritos em seguida.

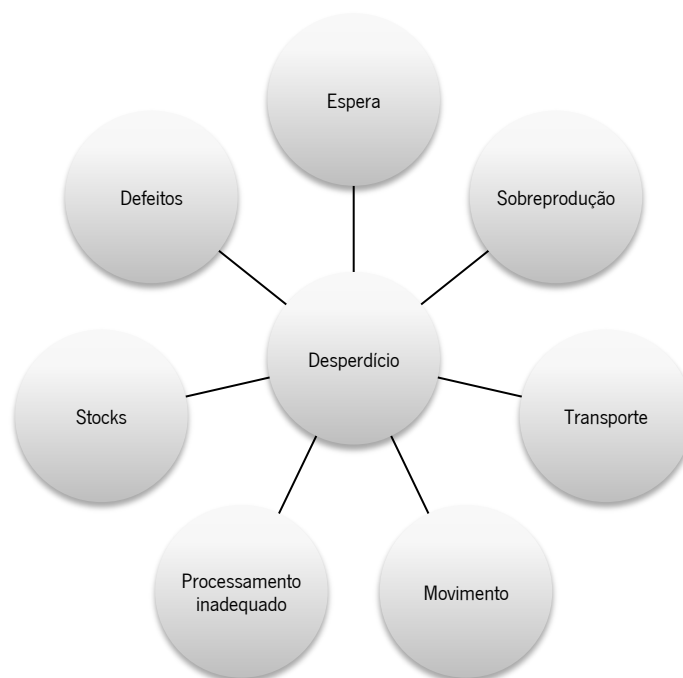


Figura 4 – Os Sete *Muda's*, adaptado de (Melton, 2005)

Espera: todo o período de inatividade de um operador ou equipamento, quer seja por falta de material (fluxo pobre), avaria do equipamento ou longos tempos de *setup*. Reflete-se em longo *lead time* (LT).

Sobreprodução: ou seja produção em demasiada quantidade ou demasiado cedo, não sendo puxada. Resulta num pobre fluxo de informação ou do produto e num excesso de *stock* final.

Transporte: excesso de movimento de materiais, produtos ou bens e informação, originando desperdício de tempo e logo um custo associado.

Movimentações: pobre organização do posto de trabalho (PT) que resulta em pobres condições ergonómicas, por exemplo, excesso de movimentos de dobragem ou deslocação excessiva dos operadores e desperdício de tempo na procura de ferramentas. Deriva da má definição da sequência operatória num PT.

Processamento inadequado: processos realizados de forma errada por uso de ferramentas ou equipamentos de forma inadequada ou por engano, derivado da falta de formação do operador e desconhecimento ou má especificação da instrução de trabalho (IT), podendo por vezes o processo ser abordado de modo mais simples e efetivo.

Stocks: todo o excesso de *stock*, seja de matérias-primas, produto acabado ou *work-in-process* (WIP). Este excesso resulta em elevados custos de inventário, levando a um pobre serviço ao cliente.

Defeitos: erros frequentes nos documentos ou produto, problemas na qualidade do produto que resultam em sucata ou retrabalho e que por sua vez traduzem-se numa má performance nas entregas e satisfação do cliente.

O LM procura a melhoria da performance do sistema produtivo através da identificação e eliminação do desperdício, usando para este efeito as suas ferramentas (secção 2.2), de modo a eliminar a causa raiz do desperdício e não apenas o sintoma que revelou a existência deste (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

A implementação do LM e a consequente eliminação destes desperdícios já demonstrou ter resultados comprovados, em geral uma redução no WIP entre 33-68% e diminuição dos defeitos entre 45-90% (Sullivan, McDonald, & Aken, 2002).

Atualmente alguns autores, como Liker (2004), vêm referindo o não aproveitamento das ideias dos colaboradores como um oitavo desperdício. Para uma visão mais detalhada dos diferentes tipos de desperdício pode consultar-se o Anexo 2.

2.2. FERRAMENTAS E TÉCNICAS DO *LEAN MANUFACTURING*

Para compreender o LM apresenta-se a casa TPS (Figura 5) que existe para melhor entender a relação entre as ferramentas que dão corpo ao LM, as quais foram desenvolvidas com dois objetivos: identificar desperdício e eliminar desperdício.



Figura 5 – Casa TPS (Liker, 2004)

Na base da casa situam-se os alicerces onde tudo assenta, a filosofia *Toyota*. Esta defende a produção nivelada e suavizada, apoiada pelo trabalho normalizado e pela gestão visual. Sobre esta base erguem-se dois pilares, o *Jidoka* para autonomia e o *Just-In-Time* (JIT), que por sua vez sustentam o telhado.

O telhado da casa pode ser encarado como os objetivos atingíveis por meio de toda a estrutura referida, que são a melhor qualidade, o baixo custo, o rápido prazo de entrega, a melhor segurança e o aumento da moral, alcançáveis através da diminuição do fluxo produtivo com a eliminação do desperdício. No centro da casa está a melhoria contínua (*Kaizen*) que é vista como o culminar da redução do desperdício com o envolvimento dos colaboradores.

As ferramentas do LM não se limitam às aqui referidas, sendo algumas destas, como por exemplo o JIT, apoiadas por outras que representam o tijolo e o cimento da sua edificação, e todas elas se mantêm intimamente ligadas à eliminação do desperdício.

Nesta secção procede-se à apresentação das diversas ferramentas que fazem parte do LM, tomando como orientação a construção da casa, começando pela base, percorrendo todo o caminho até o telhado e finalizando com uma ferramenta de análise e diagnóstico.

As ferramentas a seguir mencionadas não são as únicas de que o LM se faz valer, existem bastantes mais aqui não referidas (Anexo 3).

O objetivo deste projeto está ligado à melhoria contínua de processos produtivos, tendo sido algumas destas ferramentas aplicadas.

2.2.1. GESTÃO VISUAL

Trata-se de um método de informação dinâmico e visual, colocado em zonas estratégicas para fácil visualização, permitindo a qualquer pessoa, colaborador ou não, inteirar-se do estado atual de qualquer

elemento, sabendo se esta está ou não sob controlo. As informações que este fornece são variadas, estando na sua maioria sempre ligadas, por exemplo, à produtividade, planeamento e nível de *stock*. Pela sua fácil visualização permite aos colaboradores uma rápida intervenção para regularizar qualquer situação, evitando assim maiores perdas de tempo e consequentemente menos custos e um desperdício evitado. Exemplos da sua aplicação são o *Andon System*, o sistema *Kanban* e a *Standard Work Combination Sheet* (SWCS) (Red Lion Controls, 2011).

2.2.2. TÉCNICA 5S

Mecanismo usado para criar um PT adequado para controlo visual e práticas *Lean*. Foca-se na organização efetiva do espaço de trabalho e nos procedimentos de padronização do trabalho (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

Melton (2005) define-a como uma técnica de limpeza visual que permite controlar o chão de fábrica, sendo constituída por cinco atividades (5 S):

- *Seiri* – separação das ferramentas necessárias das desnecessárias e remover as ultimas;
- *Seiton* – organizar as ferramentas para facilitar o seu uso;
- *Seiso* – manter a limpeza do PT;
- *Seiketsu* – tornar saudável o ambiente de trabalho e manter o acima definido;
- *Shitsuke* – criar a rotina de seguir as atividades anteriores.~

Um mecanismo frequentemente utilizado para o controlo visual na indústria é o *Andon System* (Figura 6.)



Figura 6 – Exemplo de *Andon System* (Werma UK Ltd, 2012)

Visualizando este mecanismo é possível saber em que estado se encontra o equipamento a que está acoplado pela luz que estiver acesa. Geralmente, os estados são em avaria para a luz vermelha, necessita de abastecimento para a luz amarela e em pleno funcionamento para a luz verde.



2.2.3. STANDARD WORK

Ferramenta relacionada com o modo de realização do trabalho, que deve ser normalizado, assegurando assim que todos os operadores utilizam um equipamento da mesma forma ou realizam uma operação seguindo o mesmo procedimento. Para este efeito os procedimentos e sequências operatórias são estudados de forma a eliminar o desperdício e encontrar o modo de execução mais eficaz e eficiente, que resulta por exemplo na criação de IT's a colocar nos PT para eventual consulta em caso de dúvida ou formação (Womack & Jones, 2003). Deste modo é possível evitar erros de produção e trabalho desnecessário por parte dos colaboradores.

O trabalho normalizado é a outra face da moeda que é a melhoria continua. Se o primeiro existir sem o segundo podem suceder problemas como a falta de motivação dos recursos humanos, o desperdício da criatividade destes e a repetição de problemas desconhecidos e pendentes. Operações são como economias, empresas, culturas e outras espécies, que ou progridem e evoluem ou entram em declínio (General Electric Company, 2012).

2.2.4. JUST-IN-TIME

O JIT é um dos pilares da casa TPS (Figura 5), desenvolvido por Ohno (1988) com base na sua experiência com teares e tendo como instrumento a sua abordagem baseada no “senso comum”. Já era conhecido uma década antes da introdução do termo LM (Holweg, 2007).

No sentido do JIT funcionar é necessário produzir e receber componentes em lotes de tamanho pequeno, na quantidade certa, no local certo, apenas e quando forem necessários, ou seja, quando o cliente “puxa” a encomenda no final do processo produtivo. Este por meio de *Kanban's* dá seguimento ao processo iniciado pelo cliente, puxando a produção de trás para a frente (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

2.2.5. KANBAN

Kanban ou cartão em português é um sistema de sinalização necessário para a implementação do JIT (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). Essa necessidade justifica-se por este garantir o fluxo puxado da produção através dos cartões de produção e movimentação de materiais, que viajam desde o fim do processo produtivo para todas as atividades precedentes, de acordo com as necessidades do cliente (Melton, 2005).

Esta ferramenta nasceu da observação do modo de funcionamento dos supermercados existentes na indústria americana (Shingo, 1988). Um supermercado é nada mais do que um *buffer* ou área de armazenamento localizada no fim ou ao longo do processo produtivo para servir o cliente ou PT (Melton, 2005).

O dimensionamento do *kanban* e o seu funcionamento deve ser tal que assegure a reposição de acordo com o método de reposição *first in-first out* (FIFO), tornando-se num modo efetivo de implementar um sistema puxado, que reduz o LT e o WIP em todas as etapas do processo produtivo, uma vez que cada PT não faz nada até o PT que lhe sucede pedir por abastecimento, isto é, enviar um cartão *kanban* (Melton, 2005).

A informação contida num *Kanban* muda de empresa para empresa, no entanto existem informações comuns, como é exemplo o nome, referência, quantidade de um artigo a produzir. Outros tipos de informações que podem constituir um *kanban* são as exigências de qualidade e indicações ao processo produtivo. Na Figura 7 apresenta-se o exemplo de um cartão *kanban*.



Figura 7 – Exemplo de cartão *Kanban* (Synerflex Consulting International , 2009)

O *kanban* permite então sincronizar e nivelar a produção, exercendo um controlo no processo produtivo que permite um suave reação ao pedido do cliente ao mesmo tempo que reduz o *stock* ao longo de todo o chão de fábrica (Panizzolo, 1998).

2.2.6. JIDOKA

O outro pilar do TPS é o *Jidoka* (*Autonomation*), em português autonomação, que representa a capacidade dos equipamentos pararem quando algo está mal. A ideia surgiu por Saikichi Toyoda, que implementara nos teares da então indústria têxtil da família Toyoda, um mecanismo que fazia com que estes parassem quando o fio quebrava, a fim de não desperdiçar nenhum material ou tempo (Liker, 2004). Toyoda referia-se aos teares como um livro aberto perante os seus olhos (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

Liker (2004) define esta ferramenta como o desenvolvimento dos equipamentos no sentido de lhes conferir autonomia para funcionarem sem auxílio humano e para pararem quando algo não está bem, emitindo um alerta neste caso. Desta forma é possível libertar recursos humanos (Monden, 2012).

O “tijolo e cimento” que ajudam a dar corpo a este pilar são o *Poka-Yoke*, o trabalho normalizado e a produção em pequenos lotes, esta última idealizada por Ohno (1988), que combinados possibilitam que



defeitos produzidos sejam detetados mais cedo, resultando num ganho de qualidade (Sullivan, McDonald, & Aken, 2002).

Poka-Yoke, ferramenta criada por Shingo, significa à prova de erros, e consiste em dispositivos colocados nos PT de modo a assegurar a correta execução de uma operação, evitando erros de processo e defeitos (Shingo, 1989).

2.2.7. TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE

O TPM, ou em português a manutenção produtiva total, tem por objetivo a prevenção das avarias em vez da reparação destas. Nesse sentido os trabalhadores são instruídos de modo a realizarem regularmente atividades de manutenção e monitorização, de forma a prevenir e alertar quaisquer anomalias (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

Segundo Abdulmalek & Rajgopal (2007) pode concluir-se que o TPM reduz de forma significativa as avarias casuais de máquinas, previne complicações mais sérias, o que, por sua vez, contribui para a redução do WIP e do LT. Este traduz-se num aumento no *overall equipment effectiveness* (OEE), que por sua vez é função do baixo tempo de utilização e outras perdas de produção (Ljungberg, 1998).

Abdulmalek & Rajgopal (2007) ainda afirma que as avarias de máquinas e pequenas paragens representam entre 20-30% de perda no OEE.

2.2.8. SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE

Contratado em 1955, Shigeo Shingo desenvolveu a ferramenta *Single Minute Exchange of Die* (SMED) que tem como objetivo a redução do tempo de *setup* para um valor entre zero e nove (Shingo, 1985).

Setup é o tempo despendido na alteração de um equipamento para produzir um produto diferente do último concebido.

Segundo Panizzolo (1998) grandes esforços foram feitos no sentido de reduzir estes tempos, que são apontados como um dos grandes obstáculos para atingir a produção em fluxo contínuo.

Para a correta e bem-sucedida aplicação do SMED, Shingo (1985) estabelece um conjunto de etapas, começando por fazer a classificação das operações em dois tipos, internas e externas. Operações internas são as realizadas com o equipamento parado e as externas o oposto. Depois disto, a segunda etapa será a transformação das operações internas em externas acompanhada de uma verificação da atual distinção para assegurar a correta classificação de cada operação. Por fim, na terceira etapa procede-se à análise de todas as operações com o intuito de as tornar mais eficientes.

2.2.9. KAIZEN

Kaizen ou melhoria contínua, representa o ciclo contínuo de atividades que promovem a melhoria através da eliminação do desperdício e criação de valor no sentido de chegar a um processo livre de desperdício (Melton, 2005). Esta ferramenta situa-se no centro da casa TPS (Figura 5) e Melton (2005) afirma mesmo que a melhoria contínua é o núcleo duro do LM.

Segundo Coimbra (2009) uma força oposta à implementação da melhoria contínua é a resistência à mudança por parte dos envolvidos. Este defende que o *kaizen* é mais do que uma filosofia ou técnica, é uma forma de estar e deve fazer parte do nosso dia-a-dia.

Existem sete princípios fundamentais que garantem o sucesso e os bons resultados apontados ao *kaizen* (Coimbra, 2008), eles são:

- *Gemba kaizen*;
- Desenvolvimento das pessoas;
- Normas visuais;
- Processo e resultados;
- Qualidade em primeiro lugar;
- Eliminação de desperdício;
- Abordagem “fluxo puxado” (*pull system*).

Para ser bem-sucedido, o *kaizen* tem de ser transversal dentro de uma organização, cobrindo todos os envolvidos, desde a gestão de topo até aos colaboradores. Proceda-se agora a uma sucinta descrição dos princípios do *Kaizen*.

Gemba Kaizen: significa melhorar o local ou mudar para melhor, sendo também um meio de envolver as pessoas. Também é uma expressão utilizada para os eventos *kaizen* ou *action workout* (General Electric Company, 2012). Segundo Melton (2005) este tipo de evento é um método comum de iniciar uma grande mudança dentro de uma área específica no fluxo de valor, tendo a duração geral de 5 dias. Começa com a recolha de informação, a observação e análise do processo alvo de melhoria. Após esta primeira fase sucede-se a análise dos dados recolhidos e em seguida dá-se o *design* de soluções para melhorar o processo e a implementação das medidas tomadas.

Uma ferramenta frequentemente utilizada neste tipo de evento é o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), representado na Figura 8. Inicialmente proposto por Shewart, e mais recentemente trabalhado por Deming, este ciclo tem por fim orientar o processo de melhoria contínua. O ciclo divide-se em quatro fases, sendo a primeira o planeamento (Plan) onde se indica o alvo de melhoria e planeiam as ações a desenvolver, para em seguida serem implementadas na segunda fase (Do). Depois da implementação

das ações, sucede-se a fase de análise de resultados (Check) a partir da qual se conclui as ações de melhoria para todo o processo (Liker, 2004).

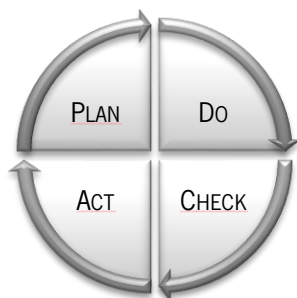


Figura 8 – Ciclo PDCA

Desenvolvimento das pessoas: este princípio destaca a importância do envolvimento de todas as pessoas nas atividades de melhoria, isto porque existem hábitos a mudar ou a criar sempre que se implementa algo, havendo a necessidade de preparar todos os envolvidos para os novos hábitos.

Normas visuais: a norma representa o método mais eficiente de realizar uma operação. É de extrema importância a sua definição, isto porque, existem várias pessoas associadas ao mesmo processo, cada uma com o seu método e consequentemente com desperdício e variabilidade associados. Desta forma é possível evitar estes desperdícios ou atrasos.

Processo e resultados: este princípio destaca que método e resultado são igualmente importantes, porque se o resultado é importante no sentido em que se definem objetivos para uma equipa ou grupo, também é igualmente importante o tempo dedicado ao processo, de modo aos resultados serem coerentes e consistentes.

Qualidade em primeiro lugar: a qualidade é uma referência do *kaizen* e o assunto mais importante de toda a filosofia. As melhorias implementadas são sempre em função da eficiência exigida para satisfazer o cliente e combater a exigência do mercado.

Eliminação de desperdício: já referido na secção 2.1.2, o *kaizen* persegue o desperdício com o intuito da sua eliminação e consequentemente chegar ao processo livre de desperdício. Segundo Melton (2005), inicialmente o desperdício é facilmente identificável e rápidas mudanças no processo podem trazer grandes melhorias. No entanto estas atividades não terminam aqui, uma vez tratar-se de um processo cíclico que os pensadores *Lean* repetem na procura da perfeição.

Pull System: é o sistema de produção puxado pelo cliente, que organiza toda a cadeia de abastecimento de forma que o fluxo de materiais e informação seja otimizado. Mais uma vez está presente a eliminação do desperdício, neste caso na espera dos materiais.

Masaaki Imai (2012), fundador do *Kaizen Institute*, destaca o conceito *kaizen* na atualidade como um dos conceitos chave da gestão.

Como já referido na secção 2.2.3, *kaizen* é a outra face na moeda com o *standard work*. Neste caso, se o primeiro existir sem a presença do segundo as mudanças serão caóticas, o progresso impossível de identificar e as melhorias irão estagnar. Isto quer dizer que o *kaizen* precisa de uma linha de comparação, que no caso é dada pelo *standard work*.

2.2.10. VALUE STREAM MAPPING

O primeiro passo no caminho para o LM é a observação da organização no seu atual estado. Para esse fim descreve-se aqui *Value Stream Mapping* (VSM).

Sullivan, McDonald, & Aken (2002) definem o VSM, segundo Rother & Shook (2008), como uma técnica de melhoria de empresas, que permite uma visualização de todo o processo alvo de melhoria. O VSM apresenta o fluxo de materiais e informação, mostra a relação entre estes, identifica, analisa e quantifica o desperdício e as suas origens, combina os princípios do LM e define quem ou que equipas devem estar afetadas a quais eventos de melhoria. Resumindo, o VSM fornece um mapa para a implementação dos conceitos do LM através da ilustração de como o fluxo de informação e materiais deve ser.

Não obstante a esta definição está a opinião de Abdulmalek & Rajgopal (2007), que definem o VSM como um mapa para identificar as fontes de desperdício, as oportunidades de melhoria, e as ferramentas do LM a utilizar. Estes sugerem um conjunto de etapas para a elaboração de um VSM.

- 1ª. Etapa - Escolher um produto ou família de produtos particular como o alvo de melhoria;
- 2ª. Etapa - Desenhar um mapa do estado atual (*Current State Map* – CSM) que providencia a base para analisar o processo e identificar as fraquezas deste;
- 3ª. Etapa - Criar o *Future State Map* (FSM), que será a imagem que o processo deve aparentar depois de removidas as ineficiências detetadas. Um FSM é criado respondendo a um conjunto de perguntas relacionadas com a eficiência e sobre a implementação técnica das ferramentas do LM. Este mapa será a base para realizar as alterações necessárias no sistema.

Para a elaboração do VSM procede-se à recolha de informação sobre o fluxo de material seguindo o sentido de trás para a frente, ou seja, começando pela zona de expedição até ao início do processo produtivo. No decorrer deste caminho é recolhida informação relativa ao processo, ao nível de inventário antes de cada processo, tempo de ciclo (TC), número de trabalhadores, tempo de *setup*, sucatas, desperdícios, *takt* time (TT), entre outros, através de visualização directa e diálogo com os colaboradores envolvidos. É de destacar que esta informação é obtida caminhando no chão de fábrica e dialogando com os responsáveis e colaboradores em cada posto de trabalho.

Exemplos de VSM no estado atual e futuro podem ser visualizados em Abdulmalek & Rajgopal (2007) e Sullivan, McDonald, & Aken (2002).

2.3. CÉLULAS DE PRODUÇÃO

As células de produção são um tipo de implantação produtiva, a par das linhas de produção (*flow shop*) e das oficinas (*job shop*), que se caracterizam por conjugar a capacidade e flexibilidade produtiva destas, respetivamente (Rajamani & Singh, 1996).

Sendo as linhas de produção orientadas para a produção de grandes volumes de artigos com baixa variedade (sistema de produção orientado ao produto), e as oficinas dedicadas à produção de múltiplos artigos diferentes, artigos personalizados, em baixas quantidades (sistema de produção orientado à função), quando a variedade aumentava para empresas com implantações do tipo linha ou a quantidade a produzir aumentava para as empresas com implantações do tipo oficina, ambas deparavam-se com dificuldades para responder às necessidades de um cliente cada vez mais incerto e imprevisível.

Posto isto, as células surgiram como a solução às opções de extremos opostos que são as linhas e as oficinas, como se pode ver na Figura 9.

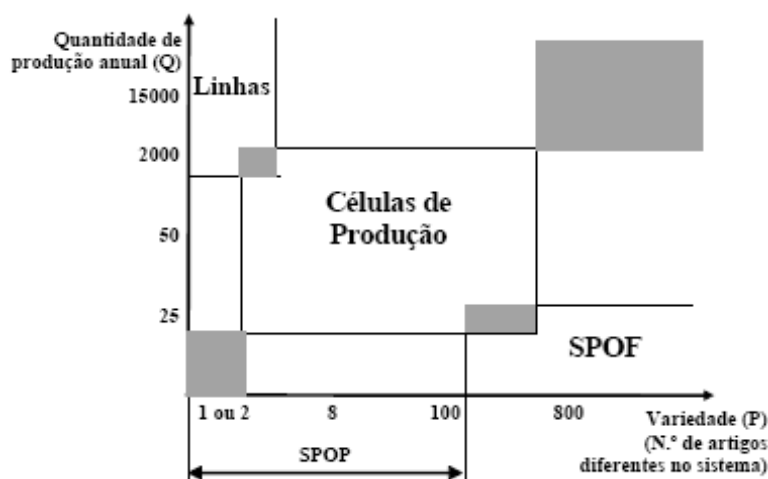


Figura 9 – Relação dos sistemas de produção em função da quantidade e variedade, (Alves, 2007)

Na Figura 9 pode ainda ver-se que linhas e células de produção são classificadas quanto à orientação como sistemas produtivos orientados ao produto, isto é, a sua organização é em função do produto que vão produzir, e as oficinas orientadas à função, porque juntam todos os recursos orientados à mesma função no mesmo espaço.

A produção em células (*Celular Manufacturing*) organiza todo o processo para produzir um produto particular ou uma família de produtos (Black & Hunter, 2003), incluindo neste espaço todos os equipamentos, ferramentas, operadores e recursos necessários que por sua vez estão dispostos de modo

a facilitar todas as operações (Abdulmalek & Rajgopal, 2007), fazendo deste um sistema de produção orientado ao produto (Alves, 2007).

Geralmente apresenta um *layout* em forma de U ou retangular, em oposição às linhas de produção provenientes da produção em massa, cujo *layout* é caracterizado pelo próprio nome, linhas (Sullivan, McDonald, & Aken, 2002), e aconselha-se que a movimentação dos operadores seja feita no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, pelo facto de a maior parte das pessoas serem dextros (Alves, 2007). Segundo Panizzolo (1998) o redesenhar do processo produtivo segundo esta filosofia é uma prática já disseminada.

2.3.1. CONFIGURAÇÕES CONCEPTUAIS

No que concerne à classificação de células mediante a utilização de recursos, Alves (2007) identifica e classifica o grupo das células básicas e o grupo das células não básicas.

São consideradas células básicas as que produzem um produto na sua totalidade sem a partilha de recursos ou a necessidade de recorrer a um recurso externo a si. Quando tal sucede, então estamos perante uma célula não básica ou partilhada, uma vez existir a referida partilha de recursos entre células (Alves, 2007).

Dentro do grupo das células básicas, identifica-se ainda a divisão quanto ao fluxo intracelular, nomeadamente a célula de fluxo direto, célula de fluxo direto com transposição, célula de fluxo inverso e célula de posto único. Na primeira está inerente a sequenciação das operações sem a possibilidade de um produto realizar um movimento inverso para um posto de trabalho precedente. Na segunda, similar à anterior, apenas se acrescenta a possibilidade de um produto saltar um posto de trabalho. Tal sucede em casos que a sequência operatória dos produtos não tem o mesmo número de operações. Para o terceiro caso o fluxo intracelular segue em todas as direções, dada a diferente sequência de processamento dos produtos e a diferença do número de operações entre produtos. Nas células de posto único é permitida a realização de movimento inverso (Alves, 2007). Para melhor entender as variações de fluxo dentro de uma célula apresenta-se a Figura 10.

As células não básicas surgem da falta de recursos para construir células independentes (células básicas), o que pode significar grandes investimentos devido à impossibilidade de deslocar máquinas pesadas. Para evitar esses gastos é promovida a partilha de recursos entre células, que por um lado, aufere maior taxa de utilização aos recursos partilhados, mas que por outro cria uma dependência produtiva da sua utilização em simultâneo. Estas também são designadas células partilhadas (Alves, 2007).

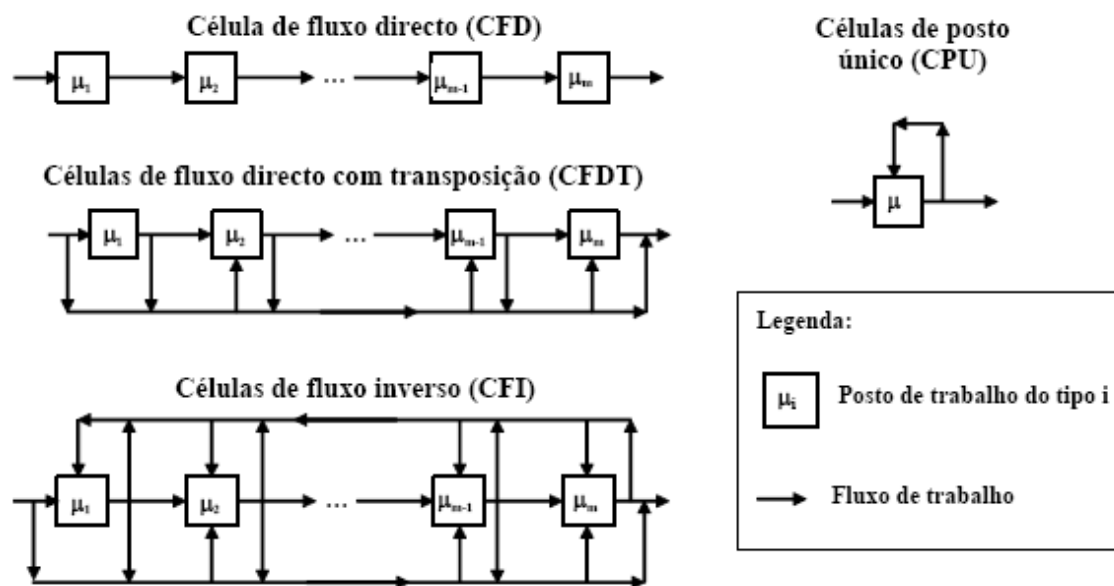


Figura 10 – Tipos de fluxo intracelular, (Alves, 2007)

Uma outra variação das células não básicas são as células híbridas, assim designadas para os casos de partilha de uma secção funcional, imposição fruto de restrições a nível tecnológico e organizacional (Alves, 2007).

2.3.2. CONFIGURAÇÕES OPERACIONAIS

Os tipos de células conceptuais, na secção atrás descritos, quando implementadas e confrontadas com os objetivos a atingir, com o tipo e quantidade de recursos utilizado, combinados com os modos operatórios e com ferramentas de controlo da produção, originam várias configurações operacionais, de entre as quais Alves (2007) destaca as células operacionais que a seguir se apresentam:

Células JIT: este tipo de célula segue a filosofia JIT, ou seja, procura a perfeição do sistema produtivo, fazendo uso do sistema *pull* para assim utilizar os recursos necessários, na quantidade, momento e local exatos, suprimindo todo e qualquer desperdício e mantendo o máximo nível de qualidade (Alves, 2007);

Células de resposta rápida: são capazes de produzir uma maior gama de artigos que o tipo de células precedentes, por meio da autonomia auferida à equipa de operadores que nela trabalha (Alves, 2007). Deste modo os operadores dependem de si próprios e adotam o modo operatório que lhes parece mais adequado e no qual se sentem mais confortáveis. Com isto é possível minimizar o LT e consequentemente servir mais rápido o cliente;

Células de produção flexível: é um tipo de célula utilizada em sistemas dedicados à produção de uma família de produtos sem que exista qualquer fluxo intercelular (Sistema de Produção Flexível) (Alves, 2007);

Células Virtuais: segundo Alves (2007) este tipo de células é um mecanismo eficiente para a gestão do uso de recursos dispersos. Isto é, são células organizadas somente ao nível do controlo da produção.

Desta forma é possível ultrapassar barreira física da utilização de um recurso destinado à produção de uma família de produtos, numa outra família de produtos (Hyer & Wemmerlov, 2002).

Células ágeis: Alves (2007) considera que pode ser qualquer tipo de célula anteriormente referido, desde que contemple a agilidade como característica. Este tipo de célula pode também interagir com outras configurações operacionais, sendo esta relação temporária e cuja duração depende do tipo de produto que está a ser produzido. Estas células são chamadas de ágeis pela rapidez com que se adaptam para produzir um produto diferente numa quantidade diferente do anterior, sendo mais indicadas para a produção de produtos com alto nível de personalização.

2.3.3. MODOS OPERATÓRIOS

Os modos operatórios são estratégias de afetação de operadores aos postos de trabalho dentro de uma célula de produção. Em seguida apresentam-se os mais conhecidos:

Working balance: o mais intuitivo e mais tradicional dos modos operatórios. Resume-se ao balanceamento equilibrado dos postos de trabalho de forma que a carga de trabalho seja distribuída pelos operadores equitativamente. Os operadores podem atravessar a célula uma vez que podem estar alocados a mais do que um posto de trabalho (Alves, 2007). Para melhor compreensão de como o modo operatório funciona apresenta-se a Figura 11.

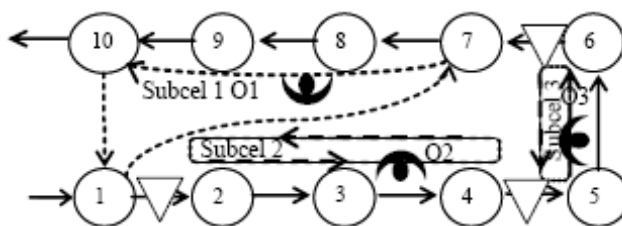


Figura 11 – Representação do modo operatório *Working Balance*, adaptado de (Alves, 2007)

Rabbit chase: resumidamente, neste modo o operador executa todas as operações do processo produtivo da célula do início ao fim, sem passar à frente dos outros operadores, controlando o processo operação a operação. A célula pode funcionar com só um operador, mas o que dá nome ao modo operatório é o facto de quando existe mais do que um operador estes “perseguem-se” ao executarem as operações sucessivamente (Alves, 2007).

Este modo exige assim total polivalência dos operadores, e que os alocados numa célula tenham desempenhos muito equilibrados, caso contrário torna-se inviável a implementação do modo operatório (Alves, 2007). Na Figura 12 está representado o funcionamento do modo para melhor compreensão.

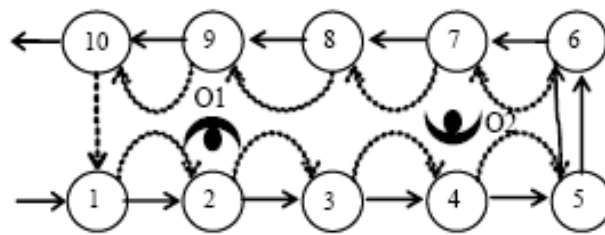


Figura 12 – Representação do modo operatório *Rabbit Chase*, adaptado de (Alves, 2007)

Para este modo não existe balanceamento como se pode concluir dada a movimentação do operador com o produto do início ao fim, realizando a produção completa deste.

A capacidade de produção depende do número de operadores na célula e o *output* é determinado pelo operador mais lento (Alves, 2007).

Toyota sewing system: este modo faz o balanceamento dos postos de trabalho considerando a partilha de operações entre operadores, sendo assim necessária a polivalência destes. Para mais fácil percepção do funcionamento deste modo descreve-se em seguida o critério de movimento do operador 2 na Figura 13, similar para os restantes operadores.

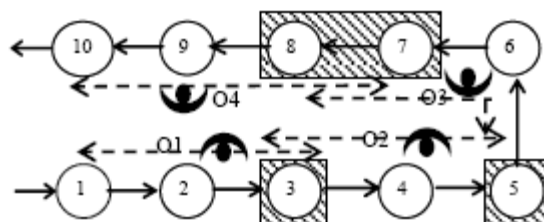


Figura 13 – Representação do modo operatório *Toyota Sewing System*, adaptado de (Alves, 2007)

Quando o operador tem um produto em mão movimenta-se no sentido anti-horário até encontrar uma operação partilhada. Se esta operação estiver desocupada ele começa a executá-la, caso contrário coloca o produto que trás do PT num *decoupler* se este existir, ou aguarda pela desocupação da operação. Quando o operador não tem um produto em mão movimenta-se no sentido horário até encontrar um produto, num *decoupler*, nas mãos do operador que o precede ou a ser executado por este na operação partilhada por ambos, e recomeça, ou continua, a execução das operações. Este movimento pode ser comparado ao de um estafeta (Alves, 2007).

Este modo promove a autonomia, responsabilidade e organização do operador e a ajuda entre operadores.

No caso de não existirem *decouplers* e um operador ser mais lento, surge o risco de os outros operadores ficarem à espera para trabalharem.

Baton-touch: segundo Alves (2007) este modo operatório é um híbrido do *Working balance* e *Toyota sewing system*. Tal justifica-se pelo acréscimo da possibilidade de os operadores poderem atravessar a

célula, inerente ao primeiro modo, ao segundo modo operatório referido. Portanto os operadores deixam de realizar apenas operações em postos adjacentes, e o mesmo operador passa a poder realizar a primeira e última operação na célula, como se pode ver na Figura 14.

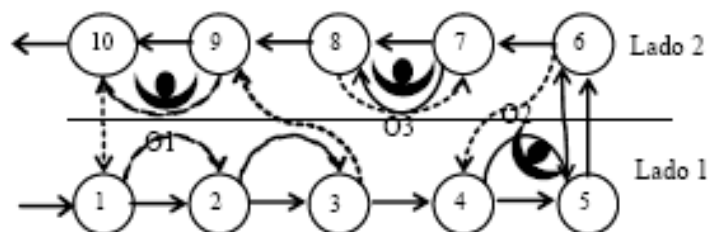


Figura 14 – Representação do modo operatório *Baton-Touch*, adaptado de (Alves, 2007)

Este operador vê ainda as suas responsabilidades acrescidas, na medida que lhe é atribuído o papel de líder e como tal tem de abastecer a célula, substituir outros operadores, preencher documentação, entre outros (Alves, 2007).

Bucket-brigades: este modo operatório assenta no seguimento de uma regra por parte dos operadores: "Carry work forward, from station to station, until someone takes over your work; then go back for more" (Bartholdi e Eisenstein, 1998) referido em (Alves, 2007).

Neste modo os operadores, ordenados do mais lento para o mais rápido, realizam as operações progressivamente ao longo da célula, sem estarem afetados a qualquer posto ou conjunto de postos em particular. Quando o operador chega a um posto que está ocupado deve somente de aguardar a libertação desse.

Finalizado o produto, o operador vai movimentar-se no sentido horário até encontrar o seu precedente para continuar com o produto deste, que por sua vez vai movimentar-se como o primeiro até encontrar também o seu precedente para continuar com o seu produto, e assim sucessivamente, até o primeiro operador (o mais lento) começar um novo produto.

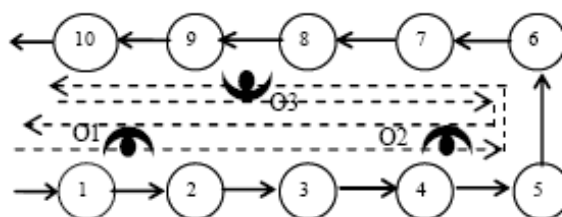


Figura 15 – Representação do modo operatório *Bucket-Brigades*, adaptado de (Alves, 2007)

Este modo operatório não precisa de ser balanceado uma vez que os operadores intuitivamente equilibram a célula, fazendo um auto balanceamento. Desta forma, o trabalho de equipa é promovido, e consequentemente a motivação do operador, permitindo maior flexibilidade na execução das operações.

Em jeito de conclusão, apresenta-se a Tabela 1 onde se comparam os modos operatórios descritos.

**Tabela 1 – Comparação dos modos operatórios, adaptado de (Alves, 2007)**

| | WB | RC | TSS | BT | BB |
|---------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Balanceamento | X | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Afetação | X | 0 | X | X | X |
| Entreajuda | 0 | 0 | X | X | X |
| Polivalência | X | X | X | X | X |
| Trabalho de Equipa | 0 | 0 | X | X | X |

X:obrigatório; **0**:livre; não condicionado

Desta forma, conclui-se que os modos operatórios TSS, BT e BB são livres em todas as características, exceto no balanceamento. Por outro lado, o RC apenas obriga à polivalência dos operadores, e o WB condiciona o balanceamento, a afetação dos operadores e a polivalência destes, deixando a entreajuda e o trabalho de equipe livre quanto à opção de o aplicar ou não.

2.3.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Dependendo do tipo de configuração adotada para a célula e o modo operatório a utilizar, existem vantagens comuns e diferentes obtidas dessas combinações. Nesta subsecção faz-se um apanhado geral das vantagens e desvantagens apontadas às células de produção na generalidade, na literatura referenciada. Como vantagens temos:

- Menor prazos de entrega;
- Redução do espaço fabril ocupado;
- Menor distância percorrida;
- Menos movimentações;
- Redução do tempo de transporte;
- Diminuição do tamanho de lotes;
- Redução dos tempos de *setup*;
- Menos custos associados;
- Diminuição do WIP;
- Menor *Lead time*;
- Melhor utilização dos recursos;
- Maior qualidade dos produtos e processos;
- Fluxo de trabalho simplificado.

Todas estas vantagens são também identificadas por (Abdelmola, Taboun, & Merchawi, 1998), (Burbidge, 1996), (General Electric Company, 2012), (Panizzolo, 1998), (Sullivan, McDonald, & Aken, 2002) e (Alves, 2007).

A diminuição do tempo de preparação e de transporte reflete-se na diminuição do LT, e consequentemente o tempo de entrega dos produtos, sem descurar a qualidade, uma vez que é mais fácil detetar defeitos que aconteçam, mediante a produção de lotes de menor tamanho. Por sua vez, a diminuição do tamanho do lote vai influenciar a uniformização do fluxo produtivo, aproximando a célula dos princípios da filosofia JIT (Alves, 2007).

Se for aplicada a manutenção preventiva nas células de produção, a qual pode ser realizada pelo operador mediante a formação deste, podem evitar-se avarias que se traduzem na paragem da produção e consequentemente custos e atrasos produtivos (Alves, 2007).

Na Tabela 19 do Anexo 4 pode ver-se a relação entre as características das células e as suas vantagens segundo Burbidge (1996).

Olhando agora para as células de produção do ponto de vista das desvantagens, identifica-se a necessidade de reimplantação, a necessidade de balancear a capacidade entre células, e a racionalização das ferramentas. O custo de investimento nas células pode ser visto como desvantagem, mas que pode ser contrariado pelo ganho na redução dos tempos de produção e dos trabalhos em curso de fabrico (Alves, 2007).

Também aqui existem desvantagens que variam consoante a combinação entre tipo de célula e modo operativo selecionado (Alves, 2007). Dentro das desvantagens a autora destaca algumas que na sua ótica são interpretadas como riscos, sendo estes o risco da resistência á mudança, quando o operador não se sente bem com o trabalho que desempenha e coloca em causa o desempenho da equipa na célula.

Segundo Alves (2007) as células de produção devem ser vistas como uma parte num todo, no sistema de produção do qual fazem parte, e dessa forma as suas desvantagens podem ser suprimidas por este.

2.4. ANÁLISE CRÍTICA

Da análise bibliográfica realizada a primeira conclusão a tirar, de acordo com Panizzolo (1998), é o triunfar do LM como sistema capaz de superar o tradicional dilema da produtividade-flexibilidade que atormenta as empresas nos dias de hoje, na corrida para satisfazer um cliente cada vez mais exigente e imprevisível. Empresas que o adotem são capazes de produzir uma vasta gama de artigos, ao mesmo tempo que mantêm altos níveis de qualidade e de desempenho. As vantagens apontadas ao LM foram verificadas em grande parte neste projeto, na medida em que, a presente filosofia de melhoria continua,

aliada às ferramentas do LM, potenciaram a evolução de todo processo produtivo e cadeia de valor da empresa.

No entanto Panizzolo (1998) afirma ainda que o LM é fundamentalmente um sistema frágil, onde a mais pequena perturbação ou desvio das condições de trabalho planeadas podem afetar seriamente a performance do sistema, devido à considerável redução de recursos praticada. A veracidade deste aspeto foi perceptível durante a realização do presente trabalho, quando atrasos externos à empresa, nomeadamente fornecedores, colocavam em risco prazos de entrega o que quer dizer que o fluxo corria o risco de estagnar. Este ponto demonstrou a importância da aplicação do LM a toda a cadeia de abastecimento ser um ponto fulcral, e que o LM não pode ser aplicado apenas parcialmente.

Numa perspetiva positiva, Melton (2005) e Sullivan, McDonald, & Aken (2002) enumeram os benefícios expectáveis da implementação do LM, os quais se podem resumir e combinar na Figura 16.

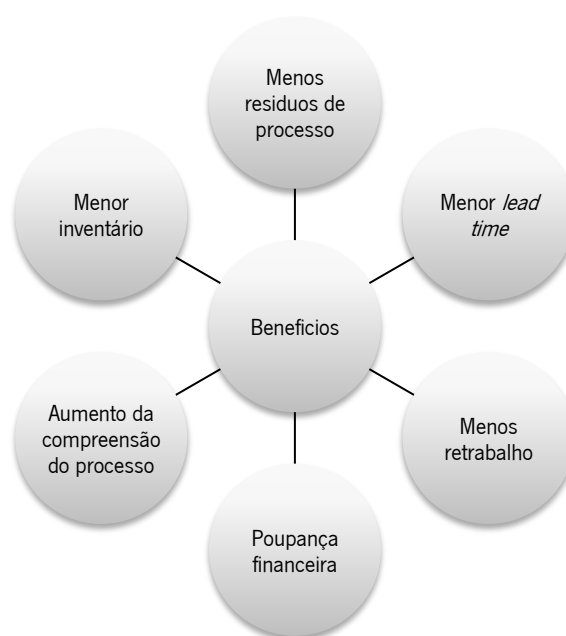


Figura 16 – Benefícios do *Lean*, adaptado de (Melton, 2005)

Dos benefícios apresentados, todos foram obtidos na realização deste trabalho, confirmando desta forma o que é expectável da aplicação do LM. No entanto, outros benefícios foram obtidos, demonstrando que o LM vai além dos benefícios apontados por Melton (2005). Esses benefícios são a relação das chefias com os operadores, a satisfação destes no trabalho, e o crescente interesse e envolvimento destes nas vantagens que o LM lhes traz.

Durante este projeto verificou-se que o sucesso do LM só é possível tendo uma boa aceitação dos operadores, e para isso, conclui-se ser cada vez mais fulcral a envolvimento destes nos projetos de melhoria continua, e a dedicação das chefias ao bem-estar deles.

Para se atingir o benefício máximo do LM de forma sustentável este deve de ser aplicado a toda a cadeia de abastecimento em vez de incidir só e apenas sobre a unidade produtiva. Ainda assim, Doolen & Hacker (2005) lembra que na indústria de componentes eletrónicos, para o caso o tipo de atividade da empresa onde se realizou o presente trabalho, nem sempre é possível retirar todos os benefícios da aplicação destas práticas. Tal deve-se a fatores como por exemplo o rápido aumento das expectativas dos clientes, a globalização do mercado dos fornecedores e do mercado onde a empresa se insere, sinónimo de concorrência mais forte e a aceleração da evolução tecnológica. Em Melton (2005) podemos ver uma imagem sobre as forças que apoiam e resistem ao LM, destacando-se a resistência à mudança dos operadores, também este um facto verificado no trabalho desenvolvido, mas também o facto de estes terem descoberto com a aplicação do LM que o processo produtivo antes era entediante.

LM não é uma iniciativa nem uma mania, é uma filosofia e uma forma de pensar com potencial para transformar as empresas. É um facto que a sua implementação é uma revolução, mas é algo que as empresas deviam de acolher de braços abertos.

No fundo trata-se apenas de um conjunto de métodos aliados a uma grande parte de “senso comum” e perspicácia que fazem desta abordagem um dos paradigmas mais influentes dos tempos recentes da indústria produtiva.

Posto isto, na perspetiva do autor, ser *Lean* é percorrer um ciclo que começa com a identificação de um problema, resolver esse problema e prevenir que volte a acontecer. Depois disso volta-se ao início, sendo o próximo passo, na opinião do autor, mais célere que o precedente, e assim sucessivamente.

3. EMPRESA

Neste capítulo é apresentada a empresa GE Power Controls Portugal – Unipessoal, Lda. onde se realizou o projeto de dissertação de mestrado. A empresa será descrita em traços gerais, com uma breve referência à sua história, a apresentação dos produtos que esta fabrica e os seus principais concorrentes e clientes. Em seguida é identificada a estratégia de resposta à procura e os fatores de produção disponíveis são especificados e classificados. O capítulo finaliza com a descrição do sistema produtivo.

3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Para iniciar esta secção apresenta-se a Tabela 2 com algumas das principais informações da empresa onde este projeto teve lugar.

Tabela 2 – Dados da Empresa (Elnforma, 2012)

| | | | |
|-----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Razão Social: | GE Power Controls Portugal – Unipessoal, Lda. | | |
| Forma Jurídica | Sociedade Unipessoal por Quotas | | |
| Capital Social | 2.293.691€ | | |
| Morada: | Rua Camilo Castelo Branco, 805, Candal | | |
| Código Postal: | 4400-062 | Endereço Postal: | Vila Nova de Gaia |
| Conselho: | Vila Nova de Gaia | Distrito: | Porto |
| Telefone: | 223746000 | Fax: | 223746029 |
| Email: | Lucia.silva@ge.com | Website: | www.ge.com |

A laborar nas suas instalações a empresa tem aproximadamente 200 funcionários. A sua estrutura organizacional é horizontal, onde os diversos departamentos respondem todos diretamente ao *Plant Manager*. No Anexo 5 pode ver-se o organigrama da empresa. Esta encontra-se localizada dentro do Candal Parque no edificio destacado na Figura 17.



Figura 17 – Localização da Empresa no Candal Parque

A empresa enquadra-se na Classificação Portuguesa das Atividades Económicas (CAE) na secção 27122 - fabricação de material de distribuição e controlo para instalações elétricas de baixa tensão, sendo que esta dedica-se essencialmente à indústria e comércio de material e equipamento elétrico e eletromecânico para uso doméstico (Tomadas, Fichas, Interruptores e disjuntores diferenciais de baixa tensão).

3.2. HISTORIAL DA EMPRESA

A General Electric (GE) Company nasceu em 1892 pela mão de Thomas Edison, criador da lâmpada incandescente, fruto da união entre a então Edison General Company e a Thomson-Houston Company. A partir desta data a GE tem procurado a inovação na criação de novas tecnologias com o intuito de tornar a vida mais prática. Em seguida podem ver-se as suas principais criações que mais influenciaram o modo de vida da humanidade:

| | |
|------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1892 | Criação da GE Company |
| 1906 | Primeira transmissão de voz pelo rádio |
| 1908 | Pioneira na implantação de locomotivas elétricas |
| 1912 | Primeira utilização do plástico pela humanidade (isolador térmico) |
| 1917 | Desenvolvimento do primeiro frigorífico |
| 1927 | Introduziu a televisão doméstica |
| 1930 | Primeira máquina doméstica para lavar roupas |
| 1935 | Lâmpadas Novalux – permitiam a realização de grandes eventos de noite |
| 1938 | Apresenta a lâmpada fluorescente |
| 1954 | Foi desenvolvida a primeira máquina de lavar loiça |
| 1957 | Lança o motor que permitiu a criação dos aviões supersónicos |
| 1969 | Neil Armstrong pisa a lua com botas de silicone feitas pela GE |
| 1976 | É desenvolvida a tomografia computadorizada |
| 1983 | Sistema de ressonância magnética é desenvolvido |

A GE continuou com o investimento em novas descobertas e melhoria de produtos desde os domésticos à nanotecnologia. Atualmente a empresa encontra-se em mais de 100 países e emprega mais de 320 mil pessoas. A GE Power Controls Portugal – Unipessoal, Lda., pertencente à divisão GE Energy, iniciou a sua atividade comercial em Vila Nova de Gaia em 01/02/1989, fruto da aquisição da EC-Material Elétrico pela Vynckier (multinacional belga) que entretanto já pertencia ao Grupo General Electric.

3.3. PRODUTOS

A empresa fabrica três tipos de produtos, sendo estes os disjuntores, tomadas e mecanismos, apresentados na Figura 18 respetivamente.



Figura 18 – Tipos de Produtos

Destes três tipos, os disjuntores serão alvo de uma descrição mais elaborada, dada a sua relevância para este projeto.

3.3.1. TOMADAS E MECANISMOS

As tomadas e mecanismos, vulgarmente conhecidos como interruptores, são produtos para o uso doméstico ou industrial para controlar a passagem de corrente elétrica num circuito, permitindo o funcionamento de qualquer equipamento elétrico.

3.3.2. DISJUNTORES

Os disjuntores são produtos que controlam a intensidade de corrente que chega às casas das pessoas, de acordo com a intensidade contratada por estas às empresas fornecedores de eletricidade, cortando o fornecimento desta sempre que a intensidade utilizada ultrapassar em 10% o valor contratado.

Na GE são produzidos disjuntores domésticos bipolares e tetrapolares, representando uma família de produtos cada um destes tipos. De agora em diante será dada mais importância à família dos disjuntores bipolares por ser sobre esta que o presente trabalho incide.

Os disjuntores são identificados em número de polos (dois polos – 2P, quatro polos – 4P), intervalo de amperagem (10/15/30/45/60), se é diferencial especial, diferencial ou não diferencial (S, AC ou ND). Portanto a designação para o código 2P1545S lê-se disjuntor de dois polos, amperagem variável entre 15 e 45 amperes, diferencial especial.

Posto isto, consoante o modelo do disjuntor os parâmetros para este disparar variam, podendo o disparo ocorrer de três formas: disparo pelo térmico, pelo magnético e pelo diferencial.

Disparo Térmico: a passagem de corrente no conjunto térmico faz fletir o bimetalo de compensação. Quando a intensidade de corrente a ser consumida é superior em 10% ao valor para que o disjuntor se

encontra calibrado, situações de excesso de equipamentos ligados à rede doméstica, o bimetálico flete além do limite fazendo com que o disjuntor dispare por ação mecânica.

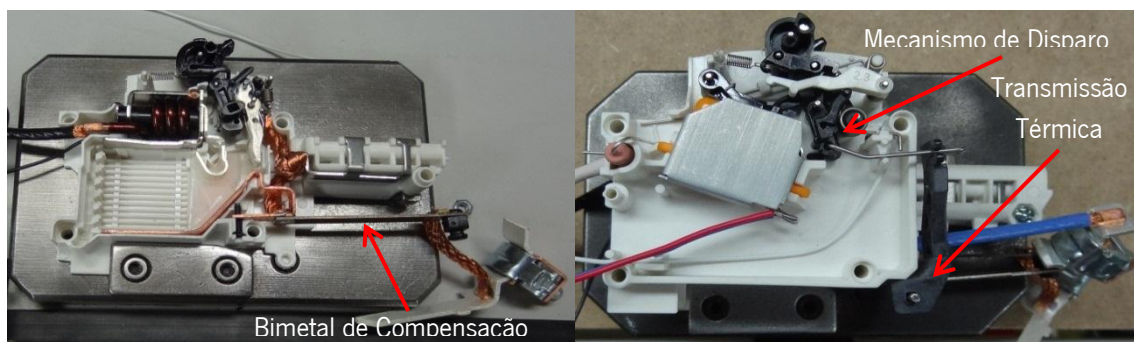


Figura 19 – Componentes do Disparo Térmico

Disparo Magnético: a passagem de corrente nas bobinas do conjunto magnético criam um campo magnético dentro do disjuntor. Este tipo de disparo acontece em situações de pico de corrente, como são exemplo as descargas elétricas na rede provocadas por trovoadas. Neste tipo de situações a força do campo magnético aumenta, empurrando o braço no interior da bobine que aciona todo o sistema mecânico que faz disparar o disjuntor.

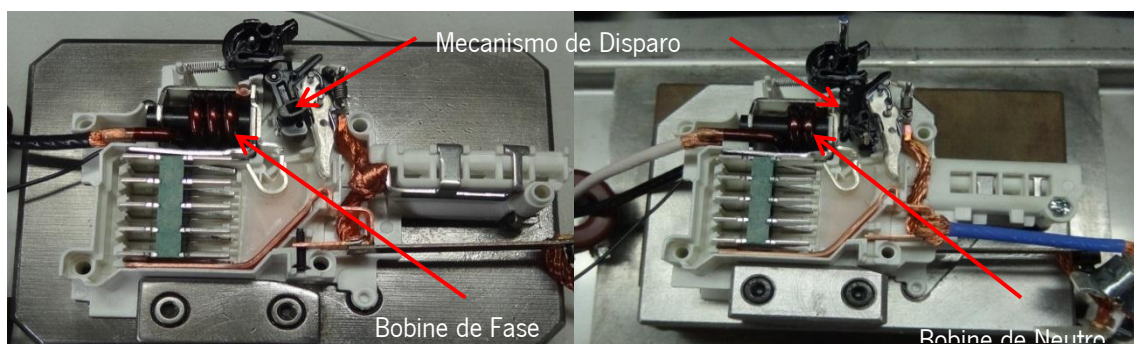


Figura 20 – Componentes do Disparo Magnético

Disparo Diferencial: só os disjuntores do tipo S e AC é que estão equipados com este tipo de disparo. Este só acontece quando existe uma corrente diferencial no disjuntor, isto é, a intensidade de corrente que entra é diferente da que sai. Situações em que tal ocorre são por exemplo quando existem descargas à terra ou quando alguém apanha um choque. Os disjuntores AC disparam no momento em que a diferença de potencial é detetada, enquanto nos S o disparo só acontece passados 2 milissegundos. Na Figura 21 e Figura 22 pode ver-se os dois tipos de relés.

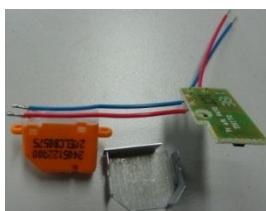


Figura 21 – Relé do tipo S



Figura 22 – Relé do tipo AC

Como já referido, os disjuntores distinguem-se ainda pelo intervalo de amperagem em que podem ser calibrados. Desta forma, se no futuro for celebrado um novo contrato com a empresa fornecedora de eletricidade não há necessidade de comprar um novo disjuntor, desde que o atual possa ser calibrado para esse valor. Na Figura 23 apresentam-se toda a gama de disjuntores bipolares e os intervalos de calibração em que estão disponíveis.

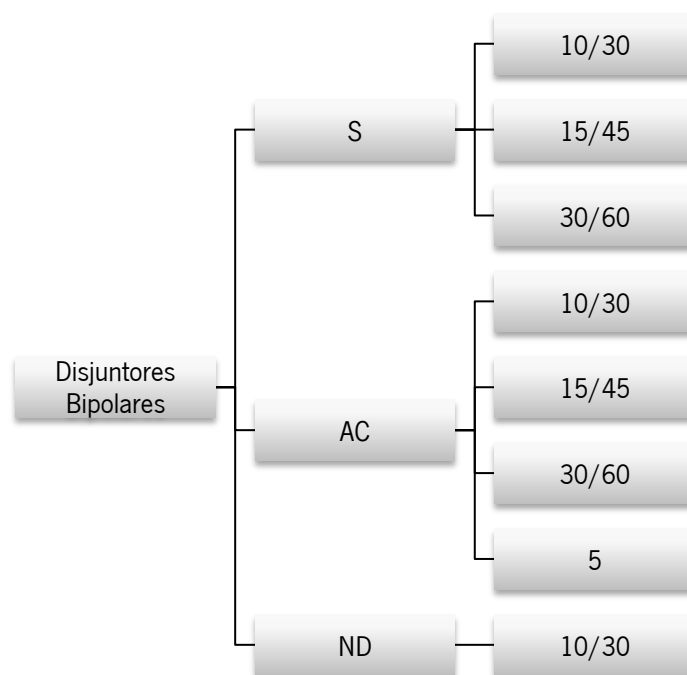


Figura 23 – Tipos de disjuntores bipolares

Na Tabela 3 – Norma para a produção bipolar apresentam-se os valores das taxas de produção em disjuntores/hora para os diferentes índices de rendimento produtivo, consoante o tipo de disjuntor bipolar. A Norma que se apresenta é calculada como o número de horas necessárias para produzir mil disjuntores.

Tabela 3 – Norma para a produção bipolar

| Modelo | Norma (horas/mil disjuntores) | Qt@140 | Qt@130 | Qt@120 | Qt@110 | Qt@100 |
|-------------|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | (disjuntores/hora) | | | | |
| S/AC | 41,18 | 34 | 31,57 | 29,14 | 26,71 | 24,29 |
| ND | 35 | 40 | 34,3 | 34,3 | 31,4 | 28,6 |

Para calibrar a intensidade de corrente que o disjuntor permite consumir na rede doméstica, o componente *shunt* é posicionado de acordo com o valor contratado à fornecedora elétrica, sendo esse valor indicado na roda de calibração.

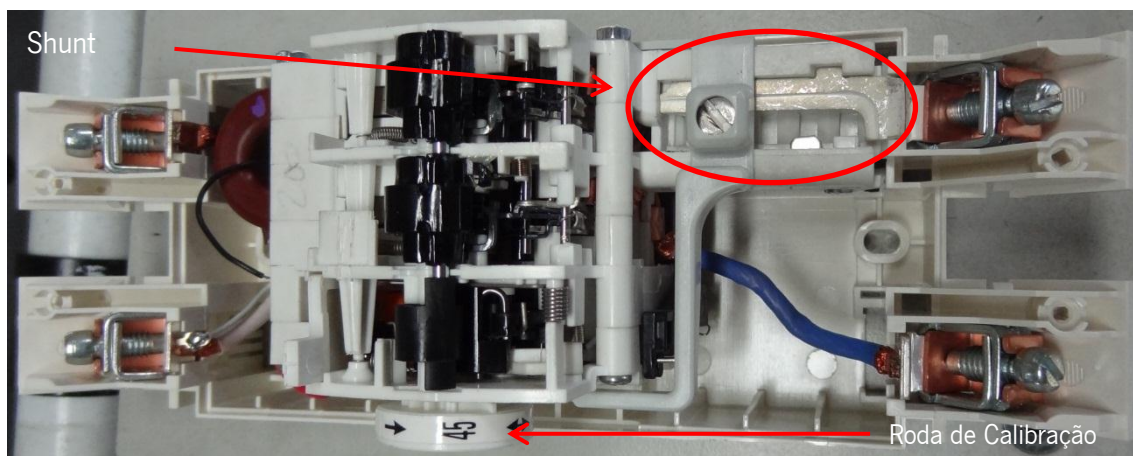


Figura 24 - Calibração da intensidade de corrente num Disjuntor Bipolar

Quando finalizado o disjuntor, o parafuso Shunt indicado na Figura 24 é desapertado e regulado, fazendo com que a roda de calibração varie consoante o valor de calibração pretendido. Desta perspetiva sem o componente “tampa central” pode ver-se que tal acontece por ação mecânica da cremalheira, para o caso deste disjuntor, cinzenta.

3.4. CLIENTES E CONCORRENTES

Entre um vasto grupo de produtores de disjuntores, destacam-se na figura seguinte os principais concorrentes da GE.



Figura 25 – Concorrentes da GE

No que aos clientes diz respeito, segue-se agora a Figura 26 com os logótipos dos principais clientes.



Figura 26 – Principais Clientes

Estes ordenam-se por ordem decrescente de volume quantitativo de vendas da seguinte forma, na primeira e mais importante posição a EDF, seguindo-se a marca alemã Hager, a EDP e por último o mercado de Norte de África.

3.5. FATORES DE PRODUÇÃO

Nesta secção apresentam-se os fatores de produção de que a empresa dispõe para a sua atividade produtiva, divididos nas categorias de materiais, meios de produção, trabalho e informação.



Materiais: existem duas categorias de materiais, os primários e os secundários. Para a empresa como materiais primários estão as matérias-primas, por exemplo as chapas de metal, as bobines de metal e uma forma granulada de plástico para a produção de componentes plásticos. Como materiais secundários temos os produtos de limpeza, a exemplo os alcoóleos e os diluentes; os lubrificantes, das diversas máquinas e para os disjuntores; o ar comprimido e a energia elétrica.

Meios de Produção: estes são classificados como meios de produção diretos e meios de produção indiretos. No primeiro tipo são incluídos todas as máquinas, desde as de injeção, fresadoras, gravadoras laser, aos ferros de soldar; as ferramentas, como por exemplo as chaves, alicates e pinças. Em relação aos meios de produção indiretos enquadram-se as instalações da empresa, com 2450 m² de área, um sistema informático de gestão, o SAP...

Trabalho: com cerca de 200 funcionários, a empresa aposta numa política de formação continua a todos os níveis da sua estrutura. No que diz respeito aos operadores envolvidos na produção dos disjuntores bipolares são todos elementos do sexo feminino, com idades compreendidas entre os 20 e 50 anos. No Anexo 6 pode consultar-se a matriz de competências ILUO desenvolvida com o intuito de apurar as capacidades e habilidades das operadoras envolvidas na produção da família de disjuntores bipolares.

Informação: o departamento de vendas, quando recebe uma encomenda, faz o lançamento desta no *software* SAP, fazendo a gestão de stocks e desencadeando assim o *Material Requirements Planning* (MRP). O SAP é uma ferramenta de gestão dinâmica que se atualiza diariamente.

3.6. PLANEAMENTO DA PRODUÇÃO

Sendo a estratégia de resposta à procura para esta família de produtos o *Make-To-Order* (MTO), o SAP começa por verificar se a quantidade encomendada não ultrapassa as existências em *stock* nem o stock de segurança. Se uma destas situações se verificar o SAP procede ao lançamento de uma ordem de produção e de compra das matérias-primas necessárias.

Por sua vez o departamento de compras, depois de informado pelo SAP, emite as ordens de compra necessárias, que aquando do seu recebimento, na zona de *Inbound*, serão avaliadas pelo departamento de qualidade. No fim, se forem dadas como OK, o departamento de produção é informado da libertação destes materiais para serem consumidos.

Por fim, no departamento de produção, depois de recebidas estas informações, é realizado o planeamento semanal e em seguida lançadas as ordens de produção nas células. Estas começam a produzir depois de abastecidas pelas *Waterspiders* (responsáveis pelo abastecimento da produção). Na produção, os materiais e informação são empurrados ao longo do processo produtivo até à embalagem, seguindo por fim para a zona de expedição.

3.7. DESCRIÇÃO DO LAYOUT DA EMPRESA

O sistema produtivo ocupa os dois pisos das instalações da GE (Figura 27), com uma área total de 4210 m², dividida em áreas produtivas e áreas de apoio à produção, com 2050 m² e 2160 m² de área respetivamente.



Figura 27 – Planta da GE

Sucede-se agora a descrição individual de cada piso.

3.7.1. DESCRIÇÃO DO PRIMEIRO PISO

Este piso encontra-se dividido em dois tipos de secções, as áreas produtivas e as áreas de apoio à produção. As primeiras são destinadas à produção de componentes plásticos e metais, e dos produtos tomadas e mecanismos, perfazendo uma área total de 1000 m². Das áreas de apoio à produção fazem parte os diversos departamentos, a manutenção e o armazém, com uma área total de 842 m².

A Figura 28 mostra parte da secção dos “Plásticos” (área 7, Figura 27) destinada à produção de componentes plásticos através de operações de injeção para abastecer as secções de montagem.



Figura 28 – Secção “Plásticos”

Na secção dos “Metais” (Figura 29) são realizadas operações de corte, quinagem e estabilização térmica, de forma a obter componentes metálicos, também estes para alimentarem as secções de montagem. Esta encontra-se situada na área 6, Figura 27.



Figura 29 – Secção “Metais”

Na Figura 30 apresenta-se a secção produtiva dos produtos Tomadas e Mecanismos denominada “Wiring.” (Área 5, Figura 27). Esta é composta por três linhas de produção, sendo ocupada por 10 operadores.



Figura 30 – Secção “Wiring”

A zona de escritórios (Área 3, Figura 27) é onde se encontram instalados os líderes e elementos de cada departamento. Neste piso encontram-se os departamentos de Qualidade, *Lean* e Manutenção,

Engenharia de Produto e Materiais, e EHS (Environment, Health & Safety). Na Figura 31 temos uma perspectiva destes a partir do armazém de componentes.



Figura 31 – Escritórios

A secção de Manutenção (Área 4, Figura 27) é dedicada à reparação e manutenção preventiva dos equipamentos e demais ferramentas que se utilizam na empresa. Neste espaço (Figura 32) existem fresadoras, tornos, e máquinas de corte, estando por isso o seu acesso limitado aos funcionários da GE.



Figura 32 – Manutenção

Na Figura 33 pode ver-se uma parte do espaço do Armazém (Área 2, Figura 27), após reconfiguração levada a cabo pelo também estagiário a desenvolver a sua dissertação na GE, Carlos Gonçalves. Neste espaço são armazenados todos os componentes e matérias-primas depois de recebidos até serem consumidos.



Figura 33 – Armazém

O espaço ilustrado na Figura 34 diz respeito à zona de *Inbound* e ao departamento de Qualidade (Área 1, Figura 27). Neste espaço são recebidos e avaliados os componentes e matérias-primas, que seguem depois para o armazém, mediante a aprovação ou rejeição pelo departamento de qualidade.



Figura 34 – Departamento de Qualidade e zona de “Inbound”

O *Lean Moonshine Shop* é o espaço onde os elementos da equipa *Lean* dispõem de equipamentos e materiais para desenvolver e modificar qualquer máquina no sentido da melhoria contínua (Figura 35). Este situa-se num anexo no exterior das instalações.



Figura 35 – *Lean Moonshine Shop*

Destaca-se a importância desta zona para a concretização deste trabalho, tendo sido aqui onde, literalmente, as soluções ganharam corpo com a preciosa ajuda do funcionário Paulo Silva, técnico permanente do *Lean Moonshine Shop*.

3.7.2. DESCRIÇÃO DO SEGUNDO PISO

Por sua vez, o segundo piso dispõe de uma área total de 1760m², dividido pelas secções produtivas de disjuntores bipolares e tetrapolares, secção de reparação, secção produtiva de soldaduras, secção de testes e calibração, e a embalagem. Este piso contempla ainda o laboratório de testes, o departamento de engenharia de processo, o departamento de planeamento, controlo e monitorização da produção e o gabinete do diretor de produção.

A descrição deste piso começa pela secção de Reparação (Área 10, Figura 27), dedicada à recuperação de disjuntores rejeitados na linha de testes (Figura 36).



Figura 36 – Secção “Reparação”

Em seguida descreve-se o espaço designado de *Earth Linkage Circuit Breaker* (ELCB), que representa toda a área dedicada à produção de disjuntores. A secção produtiva dos disjuntores bipolares (Figura 37) é constituída por seis células, ocupadas por 3 operadoras cada, e a secção produtiva de disjuntores tetrapolares (Figura 38) por duas linhas, aquando do início deste projeto, ocupadas por 9 operadoras cada.

Ainda fazem parte do ELCB a secção produtiva das soldaduras (Figura 39), a secção de testes e calibração (Figura 40 e Figura 41), e a embalagem (Figura 42).



Figura 37 – Produção de disjuntores bipolares



Figura 38 – Produção de disjuntores tetrapolares

**Figura 39 – Soldaduras****Figura 40 – Linha de testes bipolar****Figura 41 – Linha de testes tetrapolar (Hytron)****Figura 42 – Embalagem**

A Figura 43 mostra o interior do laboratório (Área 8, Figura 27), local onde amostras aleatórias da produção diária passam por testes mais específicos. No Anexo 7 pode consultar-se a lista dos 572 defeitos que podem ocorrer num disjuntor, dos quais 155 foram registados em mais de 32 mil não conformidades em 2011, nos disjuntores bipolares.

**Figura 43 – Laboratório**

Também neste piso existe uma zona de escritórios (Área 9, Figura 27), onde neste caso se encontram os gabinetes do diretor de produção, o líder do departamento de Engenharia do Processo e a equipa de planeamento, controlo e monitorização da produção.



Figura 44 – Engenharia de processo e direção da produção



Figura 45 – Gabinete de planeamento, controlo e monitorização da produção

Destaca-se a importância deste gabinete para o presente projeto, uma vez ter sido o local onde este se desenvolveu, testou e foi questionado antes de se passar à sua implementação.



4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO SISTEMA PRODUTIVO DOS DISJUNTORES BIPOLARES

A presente dissertação teve como alvo a secção produtiva dos disjuntores bipolares, mais concretamente as células de produção desta família de produtos. Numa primeira fase o autor inteirou-se de todo o sistema produtivo que serve esta família e do seu funcionamento. Neste sentido o diálogo com os operadores e a observação no local de trabalho foram o método para uma rápida e correta aprendizagem de todo o funcionamento e dos processos. Com base nestes conhecimentos e com a ajuda de documentos da empresa, realiza-se no presente capítulo a descrição geral do processo produtivo, seguindo-se a descrição da célula de produção e análise dos procedimentos, finalizando com a identificação dos principais problemas.

4.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO PRODUTIVO E FLUXO DE MATERIAIS

A primeira fase do projeto teve por objetivo a aprendizagem e compreensão do funcionamento do sistema produtivo dos disjuntores bipolares. Para melhor se perceber o fluxo de materiais dentro da organização, expõe-se a Figura 46 acompanhada de legenda posterior.

O fluxo de materiais começa no primeiro piso, com todas as matérias-primas e componentes produzidos por subcontratados a darem entrada na zona de *Inbound*, onde após inspeção do departamento de Qualidade seguem diretamente para o armazém. As matérias-primas são levantadas pelas secções de Metais e Plásticos para a produção de outros componentes. Estas secções operam segundo um sistema de *kanban*, produzindo somente o necessário no momento em que o cartão *kanban* é colocado em circulação pelo armazém, puxando assim a produção de componentes. Quando executada a ordem de produção do *kanban* os componentes são colocados em *stock* no armazém. Este, por sua vez, é da responsabilidade de um funcionário que faz a gestão dos *stocks* à medida que as *Waterspiders* fazem o levantamento de componentes para abastecerem as células de produção.

Chegado ao segundo piso, o fluxo de materiais continua com o abastecimento das células, cuja produção é empurrada pela equipa de planeamento, controlo e monitorização da produção, que determina e informa qual o modelo a produzir, em que quantidade, às equipas das células.

A secção produtiva de Soldaduras (Área 12, Figura 46) é responsável por produzir todos os componentes de soldaduras para a produção de disjuntores. Esta secção, também como as células, tem a sua produção empurrada pela equipa de planeamento, controlo e monitorização da produção. Os componentes aqui produzidos são colocados num supermercado existente no piso, a partir do qual a *Waterspider* faz o levantamento destes para abastecer as células. Muitas vezes nesta secção, a sucessiva falta de matérias-primas e avarias de equipamentos revela-se um problema que condiciona a produção de disjuntores, obrigando as células a pararem ou a trocar o modelo em produção para evitar a paragem.

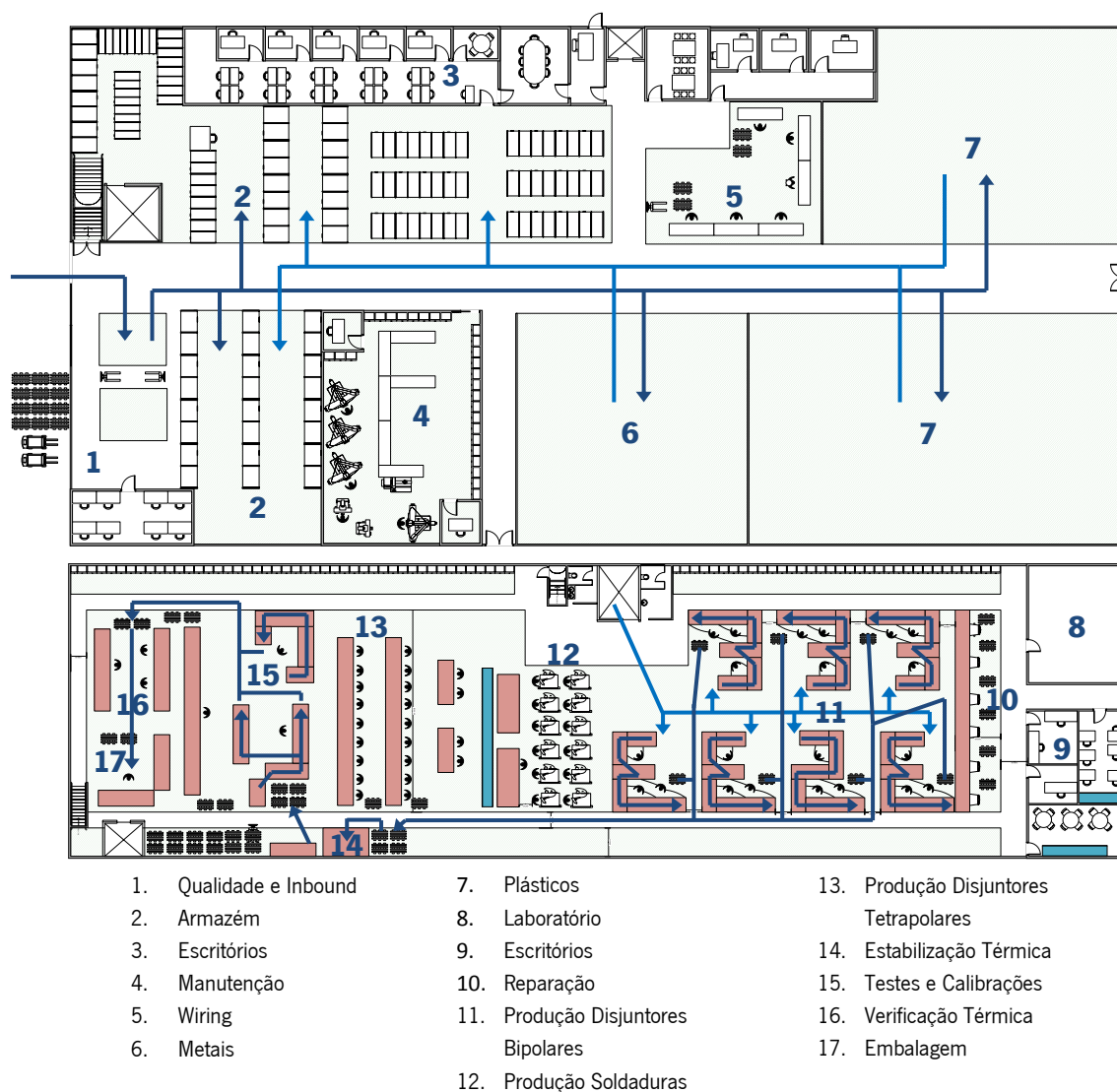


Figura 46 – Fluxo de materiais para a produção de disjuntores bipolares

Os disjuntores produzidos seguem das células de produção para a zona de Estabilização Térmica (Área 14, Figura 46) em carros com prateleiras, capazes de transportar um total de 190 disjuntores bipolares.

Depois deste processo, sucedem-se os testes e calibrações dos disjuntores. Nesta secção são detetados os primeiros aparelhos com defeitos, os quais são enviados para a secção de Reparação. Uma vez reparados, e depois de aprovados na zona de testes e calibração, os disjuntores são arrefecidos numa câmara para o efeito, para em seguida passarem à Verificação Térmica. Nesta secção o funcionamento do disjuntor é testado aquando da passagem da intensidade mínima e máxima de corrente.

Por fim, o disjuntor passa para a zona de Embalagem, sendo numa primeira instância gravado a laser ou tinta, de acordo com o cliente, o logotipo do cliente ou do fabricante, e a referência do modelo. Em seguida o aparelho é embalado e enviado para a expedição.

De forma a melhor se entender o fluxo dos materiais e de informação ao longo do sistema produtivo apresenta-se no Anexo 8 o VSM do estado inicial do sistema (Figura 140), onde se representa toda a

cadeia de valor da produção de disjuntores bipolares. No VSM destaca-se o LT igual a 30136,29 segundos, do qual apenas 369,9 segundos é tempo de valor acrescentado, representando 1,22% do LT.

O presente trabalho teve maior incidência no processo produtivo do disjuntor bipolar com a designação 2P1545S. A escolha deste modelo específico justifica-se através da análise ABC quer em relação à quantidade ou ao valor dos disjuntores bipolares.

Para realizar a análise ABC em relação à quantidade foi construída a Tabela 4, com dados relativos ao ano de 2011, a partir da qual se ilustra a Figura 47. Desta conclui-se que três dos oito disjuntores da família são responsáveis por 86,34% da quantidade produzida.

Tabela 4 – Análise ABC em relação à quantidade de produtos

| Modelo | QTD | %QTD | % Ac. QTD | % Produtos | % Ac. Prd |
|-----------------|--------|--------|-----------|------------|-----------|
| 2P1545S | 212497 | 39,92% | 39,92% | 12,50% | 12,50% |
| 2P3060S | 169424 | 31,83% | 71,76% | 12,50% | 25,00% |
| 2P1030ND | 77624 | 14,58% | 86,34% | 12,50% | 37,50% |
| 2P1545AC | 36068 | 6,78% | 93,12% | 12,50% | 50,00% |
| 2P3060AC | 24952 | 4,69% | 97,81% | 12,50% | 62,50% |
| 2P3060ND | 4832 | 0,91% | 98,71% | 12,50% | 75,00% |
| 2P1030AC | 4800 | 0,90% | 99,61% | 12,50% | 87,50% |
| 2P5A | 2050 | 0,39% | 100,00% | 12,50% | 100,00% |
| Total | 532247 | 100% | | | |

Em relação à quantidade produzida, constatou-se que o disjuntor 2P1545S é o mais vendido, representando em conjunto com o disjuntor 2P3060S o total de 71,76% da quantidade vendida, representando 25% dos modelos de disjuntores da família de produtos.

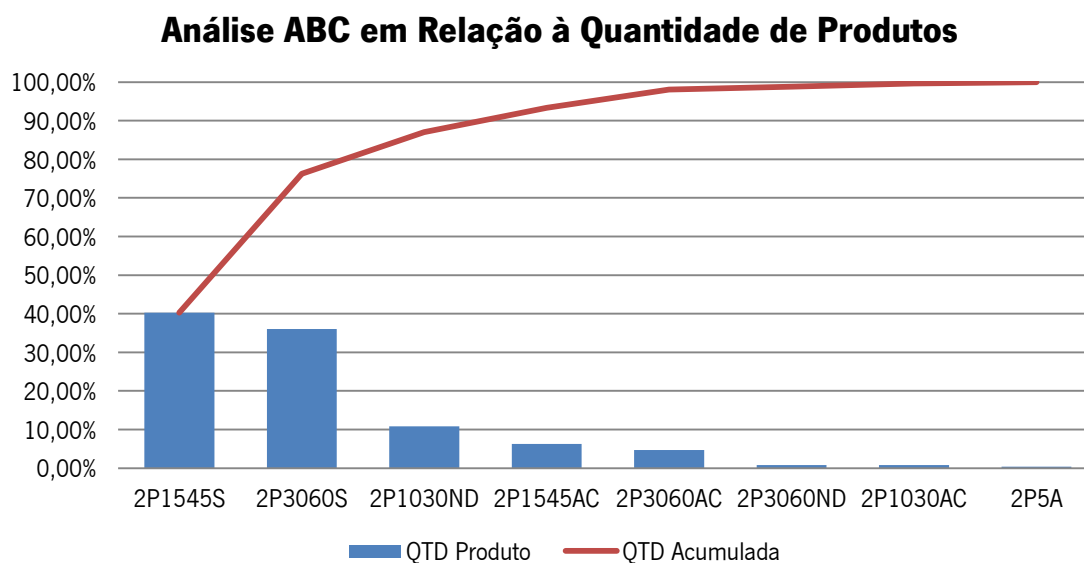


Figura 47 – Representação gráfica da Análise ABC em relação à quantidade de produtos

Quanto ao valor dos disjuntores, também foi realizada uma análise ABC, com base nos valores apresentados na Tabela 5, referentes a 2011, a qual naturalmente se assemelha à análise ABC anteriormente apresentada.

Tabela 5 – Análise ABC em relação ao valor

| Modelo | Produto do Valor | % Valor | % Ac. Valor | % Produto | % Ac. Prd |
|-----------------|------------------|---------|-------------|-----------|-----------|
| 2P1545S | 2.406.529 € | 40,24% | 40,24% | 12,50% | 12,50% |
| 2P3060S | 2.153.379 € | 36,00% | 76,24% | 12,50% | 25,00% |
| 2P1030ND | 648.160 € | 10,84% | 87,08% | 12,50% | 37,50% |
| 2P1545AC | 375.107 € | 6,27% | 93,35% | 12,50% | 50,00% |
| 2P3060AC | 282.457 € | 4,72% | 98,07% | 12,50% | 62,50% |
| 2P3060ND | 46.291 € | 0,77% | 98,85% | 12,50% | 75,00% |
| 2P1030AC | 47.376 € | 0,79% | 99,64% | 12,50% | 87,50% |
| 2P5A | 21.689 € | 0,36% | 100,00% | 12,50% | 100,00% |
| Total | 5.980.987 € | 100% | | 100% | |

Desta análise, conclui-se que também em relação ao valor, o disjuntor 2P1545S é responsável pelo maior montante e, mais uma vez em conjunto com o disjuntor 2P3060S, é responsável por 76,24% de valor gerado pela família de produtos, representando apenas 25% dos modelos de disjuntores desta.

Análise ABC em Relação ao Valor

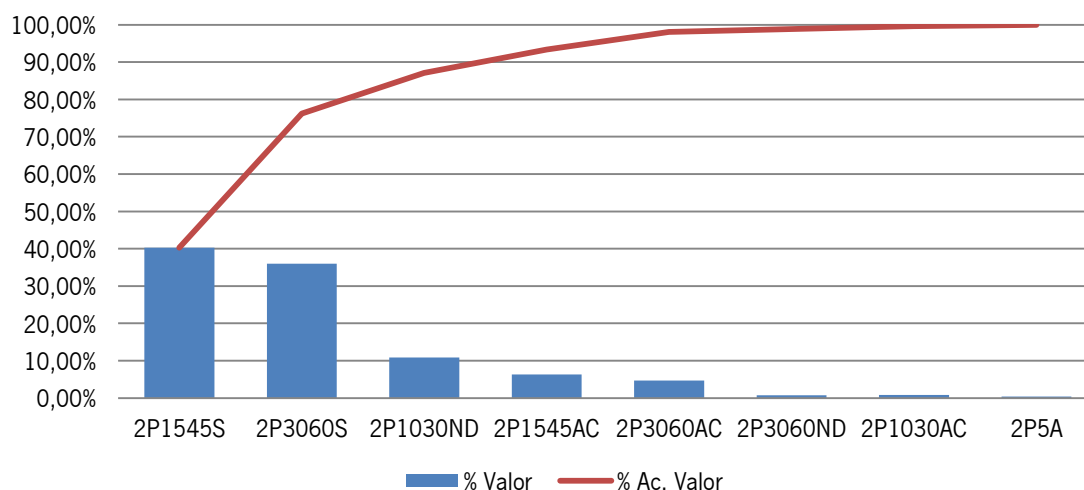


Figura 48 – Representação gráfica da Análise ABC em relação ao valor

Posto isto, dá-se início à descrição e análise das células de produção, com particular foco no processo produtivo do disjuntor 2P1545S, produzido em todas as células da secção produtiva bipolar.

4.2. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DA CÉLULA DE PRODUÇÃO

A produção dos disjuntores bipolares era realizada em seis células de produção, sendo cinco destas idênticas e uma delas mais desenvolvida, uma vez ser a célula piloto para a implementação de melhorias.

Atualmente a grande diferença entre estas é relativa ao *layout* e à disposição de materiais. Deste modo, a descrição e análise que se seguem centram-se na célula piloto, designada célula Beta.

As células são todas compostas por 7 PT e ocupadas por equipas de 3 operadores. Em seguida apresentam-se as células Beta e Zeta, Figura 49 e Figura 50 respetivamente, onde a primeira como já referido é a célula piloto e segunda representa as restantes 5 células.



Figura 49 – Célula Beta



Figura 50 – Célula Zeta

Na Figura 51 e na Figura 52 pode visualizar-se o *layout* de ambas as células, assim como a afetação das operadoras aos PT em cada célula. O fluxo de materiais dentro da célula segue a sequência dos PT.

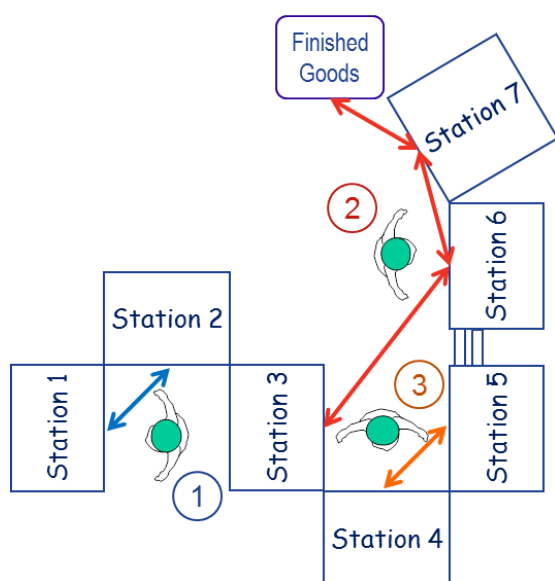


Figura 51 – Layout da célula Beta

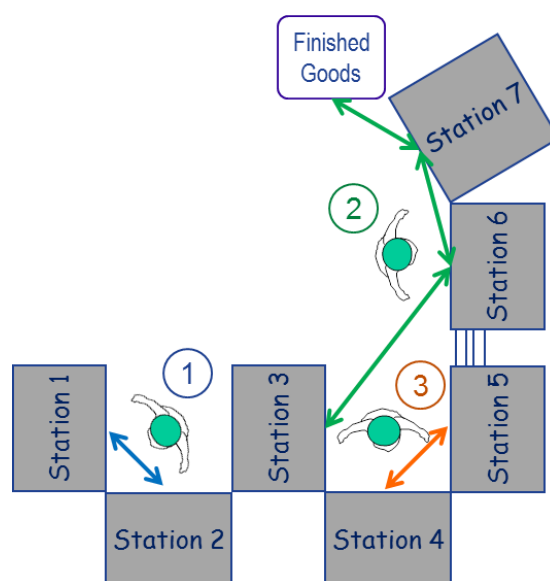


Figura 52 – Layout das restantes células

A Figura 53 – Gráfico de Análise de Processo apresenta as principais operações para a montagem de um disjuntor bipolar, e as operações de controlo dentro das células.

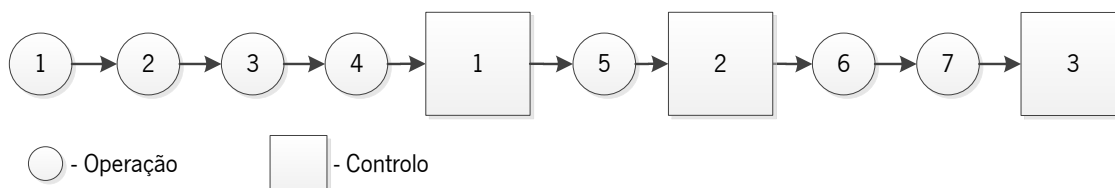


Figura 53 – Gráfico de Análise de Processo

Na Tabela 6 – Descrição das operações identificadas no gráfico de Análise de Processo apresenta-se estas operações, assim como os seus tempos de processamento. As operações coincidem em ordem com os PT.

Tabela 6 – Descrição das operações identificadas no gráfico de Análise de Processo

| Op. | Descrição | Tempo (seg.) | Ctrl. | Descrição | Tempo (seg.) |
|--------------|----------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 1 | Montagem do Térmico e Fase | 52,5 | 1 | Calibração do Bimetal | 1 |
| 2 | Montagem do Neutro | 45,2 | 2 | Soldas | 4 |
| 3 | Montagem do Shunt | 57,5 | 3 | Teste de Continuidade | 10 |
| 4 | Montagem Diferencial e Fecho do Disjuntor | 46 | | | |
| 5 | Montagem da Base e Realização das Soldas | 46 | | | |
| 6 | Conformação das Tranças e Montagem da Tampa | 19 | | | |
| 7 | Fecho do Disjuntor e Colocação do Bloqueador | 14 | | | |
| Total | | 280,2 | Total | | 15 |

A montagem de um disjuntor 2P1545S nesta célula demorava no total 295,2 segundos, ou seja aproximadamente 5 minutos.

Antes de proceder à descrição dos PT da célula Beta, apresenta-se na Figura 54 um excerto do VSM do estado inicial, referente à célula.

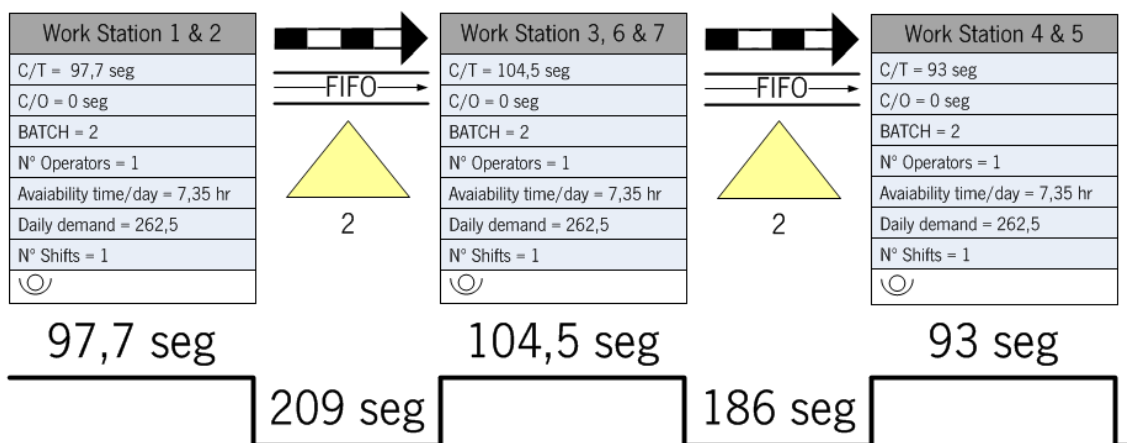


Figura 54 – VSM da célula de produção, excerto do VSM do estado inicial

As operações aqui descritas são classificadas como de valor acrescentado ou como de valor não acrescentado. Assim contabiliza-se 30136,29 segundos de LT, isto é, 8,4 horas de tempo total de fabrico, do qual só 369,9 segundos é que acrescentam valor ao produto, o que representa 1,22% no LT. Desta forma conclui-se que estamos perante um valor demasiado elevado face à relação do tempo de valor acrescentado e não acrescentado.

Olhando para a célula mais em concreto, identifica-se um LT de 690,2 segundos, do qual só 295,2 segundos contam como valor acrescentado contra 395 segundos de tempo não acrescentado, que diz respeito a esperas, testes ou controlos.

Também a partir deste VSM é possível visualizar a existência de fluxo produtivo empurrado, isto é, os PT produzem o que recebem do PT anterior, sem saber se o PT seguinte tem necessidade do produto em produção. Esta situação também ocorre em todo o sistema produtivo nas várias áreas produtivas.

Na Tabela 7 apresentam-se medidas de desempenho da célula Beta, relevantes para este projeto.

Tabela 7 – Medidas de desempenho da Célula Beta

| Medidas de desempenho | |
|----------------------------------------|-------|
| Taxa de Produção (disjuntores/hora) | 34 |
| Produtividade (disjuntores/hora.homem) | 11,3 |
| <i>Lead Time</i> (segundos) | 690,2 |
| Tempo de Ciclo (segundos) | 105,6 |
| WIP | 7 |
| <i>Run Time</i> (segundos) | 295,2 |
| Output Diário (disjuntores) | 250 |

Finalizada esta descrição geral, avança-se agora para a descrição dos postos de trabalho da célula Beta.

4.2.1. POSTO DE TRABALHO 1

O posto de trabalho 1 (Figura 55) tem como responsabilidade a montagem do conjunto intermédio representado na Figura 56. As operações aqui executadas consistem na montagem do térmico e da fase no disjuntor.

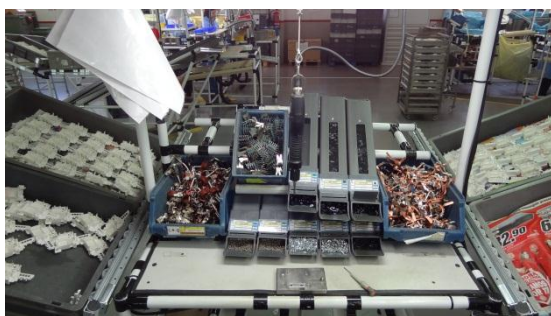


Figura 55 – Posto de Trabalho 1

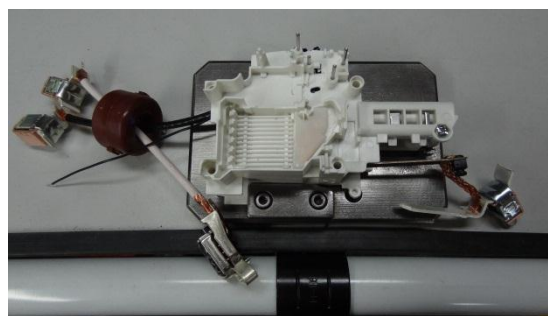
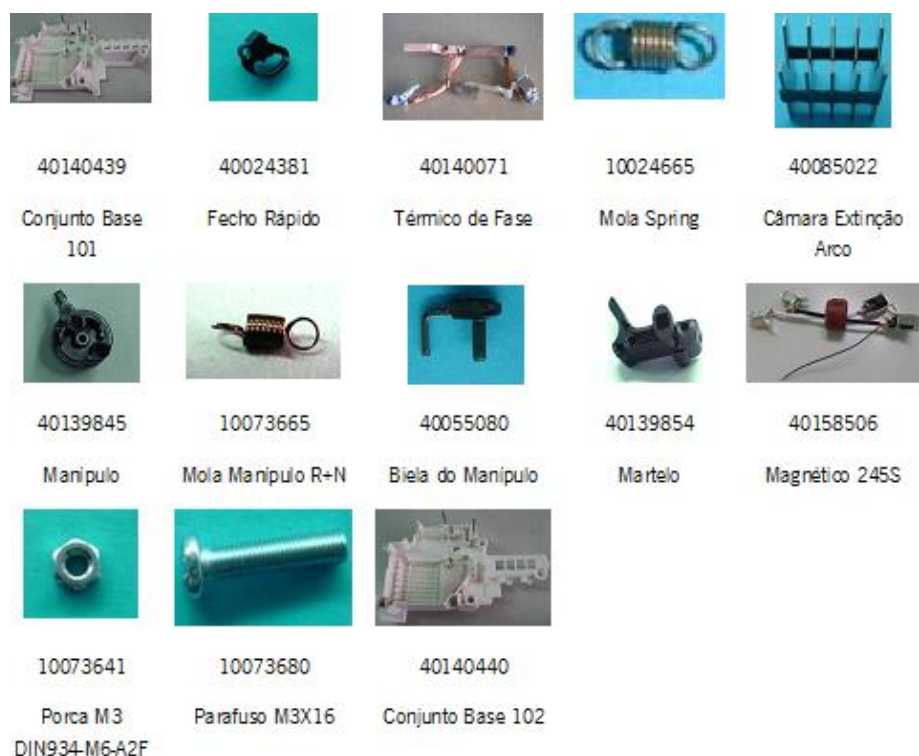


Figura 56 – Conjunto montado à saída do PT1

Neste posto são executadas 18 operações elementares e montados 13 componentes (Figura 57) pela operadora 1. A disposição dos componentes neste posto não é a mais adequada, uma vez ter-se verificado o cruzamento de mãos em busca de componentes, e a queda de muitos componentes ao chão, que só no fim do dia são varridos e depois separados do lixo e colocados no posto a que dizem respeito. A troca de contentores de componentes vazios por cheios não é a melhor, uma vez que não existe um meio de devolver os contentores vazios para trás, sendo então colocados no chão.

**Figura 57 – Componentes consumidos no PT1**

Na Tabela 8 pode visualizar-se as operações elementares do PT1 e a ordem de execução destas, que perfazem um total de 52,5 segundos.

Tabela 8 – Operações elementares do PT1

| ID | Descrição da Operação | Tempo (seg.) |
|--------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 | Colocar porca no JIG | 1 |
| 2 | Posicionar módulo no JIG | 2 |
| 3 | Colocar fecho rápido | 2 |
| 4 | Montar conjunto térmico | 10 |
| 5 | Ajuste do conjunto térmico | 2 |
| 6 | Colocar mola | 3 |
| 7 | Montagem do manipulador externo | 1 |
| 8 | Montagem do conjunto biela do manipulador e mola do manipulador | 3 |
| 9 | Montagem do conjunto anterior no módulo | 1 |
| 10 | Montagem do martelo | 2 |
| 11 | Montagem da bobina do magnético no módulo | 6 |
| 12 | Montagem da câmara de extinção | 5 |
| 13 | Fazer calibragem do magnético | 3 |
| 14 | Colocar módulo | 4 |
| 15 | Teste ao manipulador | 0,5 |
| 16 | Apertar o parafuso do térmico e colocar parafuso no módulo | 2 |
| 17 | Apertar o parafuso anterior | 3 |
| 18 | Calibrar o bimetálico | 2 |
| Total | | 52,5 |

Neste posto a operadora faz-se munir de um alicate, uma pinça, uma chave de fendas e o calibre específico do modelo em produção, para seu auxílio na montagem dos componentes, e ainda recorre a uma aparafusadora presente no posto.

Neste posto a operadora monta dois conjuntos intermédios antes de se deslocar para o PT2, levando consigo ambos os conjuntos e as ferramentas acima enunciadas.

4.2.2. POSTO DE TRABALHO 2

Seguindo agora para o posto de trabalho 2, representado na Figura 58, onde o conjunto intermédio transato evolui para o aspecto apresentado na Figura 59, com a execução da montagem do neutro no disjuntor.



Figura 58 – Posto de Trabalho 2

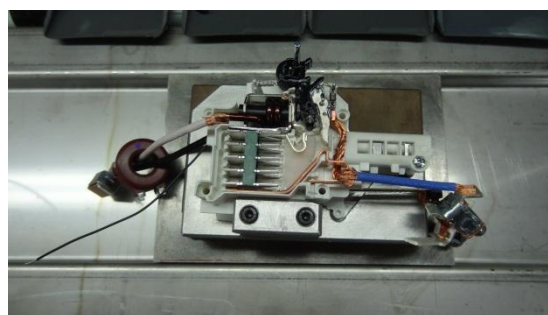


Figura 59 – Conjunto montado à saída do PT2

A sequência operatória executada neste posto contempla 14 operações elementares com a montagem de 13 componentes (Figura 57). Também aqui a operadora 1 tem problemas relacionadas com a má disposição dos componentes, ocorrendo mais uma vez o cruzamento das mãos e a queda de componentes. Também neste posto se verificou a existência de problemas relacionados com o retorno dos contentores de componentes vazios.

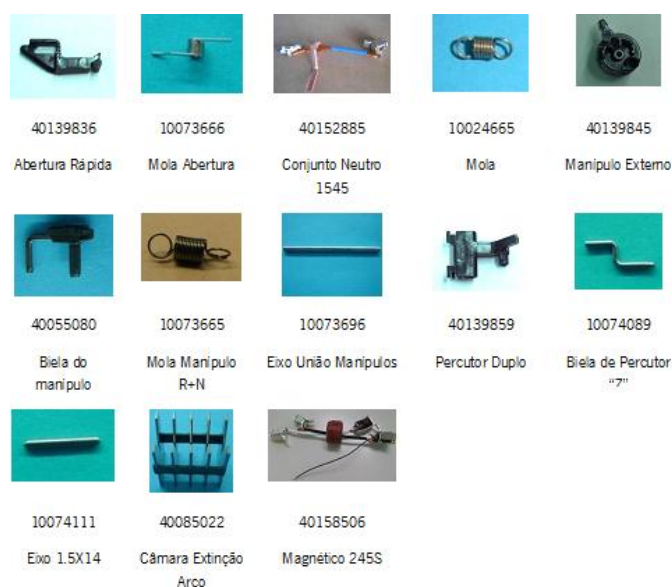


Figura 60 – Componentes Consumidos no PT2

Em seguida apresenta-se a Tabela 9 onde consta a sequência operatória do PT2, a descrição das operações elementares e os tempos de execução das mesmas.

Tabela 9 – Operações Elementares do PT2

| ID | Descrição da Operação | Tempo (seg.) |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 | Posicionar conjunto do posto 1 no JIG | 4,2 |
| 2 | Colocar abertura rápida | 2 |
| 3 | Posicionar mola | 4 |
| 4 | Colocar conjunto neutro | 5 |
| 5 | Arrumar conjunto neutro | 1 |
| 6 | Posicionar mola | 3 |
| 7 | Encaixar manípulo e o conjunto de mola e biela | 5 |
| 8 | Colocação do eixo | 2 |
| 9 | Montagem e colocação do conjunto percutor duplo, eixo e biela "Z" | 5 |
| 10 | Encaixar bobine do conjunto magnético | 4 |
| 11 | Colocar câmara de extinção | 3 |
| 12 | Fazer calibragem do magnético | 4 |
| 13 | Teste ao funcionamento dos manípulos | 1 |
| 14 | Passar conjunto para o posto seguinte | 2 |
| Total | | 45,2 |

Neste posto a operadora 1 monta os dois conjuntos que transitaram do PT1, colocando-os em seguida na rampa de abastecimento de conjuntos do PT3 à medida que os finaliza, e não os dois de uma só vez depois de completadas todas as operações.

4.2.3. POSTO DE TRABALHO 3

Por sua vez, no posto de trabalho 3, apresentado na Figura 61, é montado o shunt e iniciada a montagem diferencial, evoluindo desta forma o conjunto para o aspeto ilustrado na Figura 62.



Figura 61 – Posto de Trabalho 3

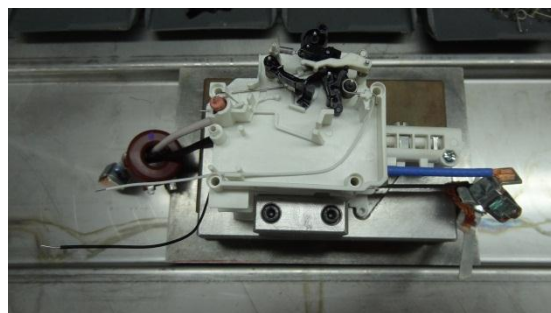
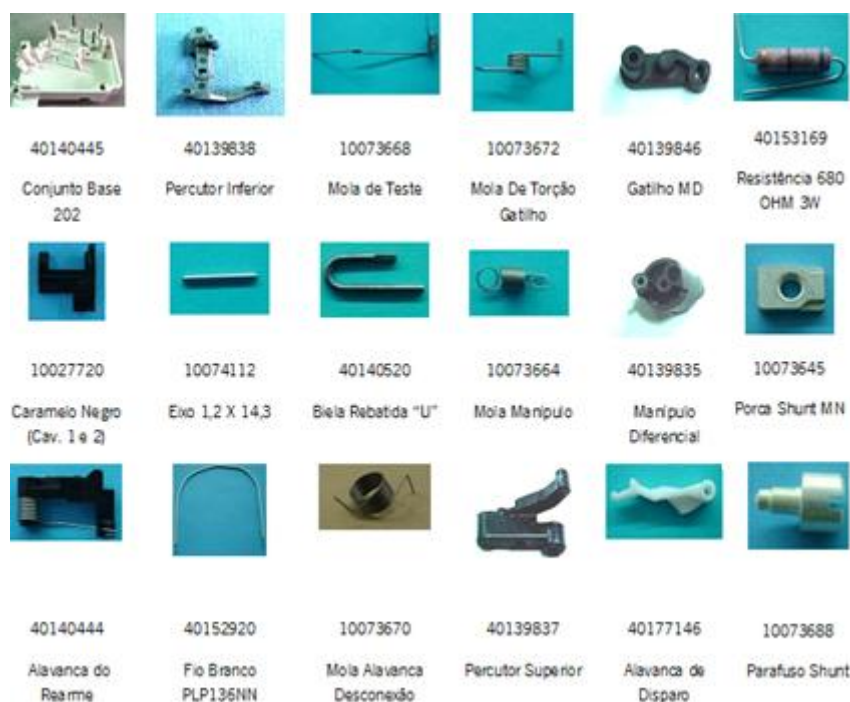


Figura 62 – Conjunto montado à saída do PT3

Neste posto são montados 18 componentes mediante a execução de 16 operações elementares. Na Figura 63 apresentam-se os componentes consumidos no PT3. Também a este posto são apontados os mesmos problemas até aqui identificados nos postos transatos.

**Figura 63 – Componentes consumidos no PT3**

A Tabela 10 apresenta a descrição, sequência e tempo das operações realizadas no PT3.

Tabela 10 – Operações elementares do PT3

| ID | Descrição da Operação | Tempo (seg.) |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 | Colocar módulo | 5,5 |
| 2 | Inserir porca de shunt | 4 |
| 3 | Colocar shunt | 1 |
| 4 | Inserir parafuso de shunt e aparafusar | 4 |
| 5 | Colocar módulo no JIG | 1 |
| 6 | Posicionar mola de teste | 3 |
| 7 | Colocar percutor inferior | 2 |
| 8 | Montar subconjunto manipulo do diferencial, caramelo, eixo e biela u e montar no módulo | 11 |
| 9 | Introduzir a mola | 3 |
| 10 | Montar subconjunto gatilho e mola e montar no módulo | 5 |
| 11 | Colocar o fio | 4 |
| 12 | Colocar resistência | 2 |
| 13 | Encaixar alavanca de rearme e montar percutor superior | 5 |
| 14 | Lubrificação da cavidade do gatilho e da biela em U | 2 |
| 15 | Montagem do subconjunto mola e alavanca de disparo no módulo | 4 |
| 16 | Passar conjunto para o posto seguinte | 1 |
| Total | | 57,5 |

A operadora 2, além de afeta ao PT3, também o está ao PT6 e PT7. As ferramentas utilizadas neste posto na execução das operações são uma pinça, máquina doseadora de lubrificante e uma aparafusadora.

4.2.4. POSTO DE TRABALHO 4

No posto de trabalho 4 (Figura 64) é finalizada a montagem diferencial e fechado o conjunto interior do disjuntor, como se vê na Figura 65.



Figura 64 – Posto de Trabalho 4

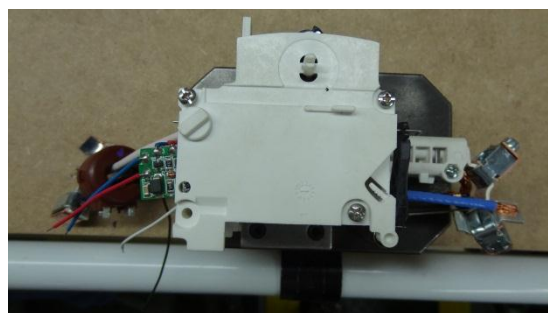


Figura 65 – Conjunto montado à saída do PT4

Para finalizar a montagem são necessários os 9 componentes que se apresentam na Figura 66 apresentada em seguida.

Neste posto houveram dois destes componentes, os Relés e os Disparadores Térmicos, que se destacaram por dois aspetos negativos, a forma como eram abastecidos e a sua disposição. Na Figura 64 pode ver-se destacado à esquerda e à direita, respetivamente, o local de disposição dos componentes Relés e Disparadores Térmicos. O primeiro é abastecido em régua de madeira com uma guia para estes deslizarem até à extremidade. Este modo de abastecimento outrora já foi muito prático e rápido, mas com o desgaste e o passar do tempo, o deslize dos componentes tornou-se mais difícil, e o reabastecimento exige a passagem da *waterspider* a cada 45 minutos sensivelmente. Como tal não se verificava, a *waterspider* no início do dia faz o primeiro abastecimento e deixa mais algumas régua de Relés para a operadora se abastecer quando precisar, que por sua vez vai depositar os componentes na mesa de trabalho. No que aos disparadores térmicos diz respeito, a inclinação a que a caixa é disposta faz com que estes caiam uns sobre os outros à medida que a operadora os vai consumindo. Isto resulta no desmantelamento de alguns, dada a facilidade de tal acontecer. A operadora para não perder tempo a montá-los novamente deposita-os no contentor de não conformidades, ou num tempo livre em que a equipa se atrase, recupera alguns componentes enquanto espera por conjuntos do PT anterior.

Derivado destas causas existia perda de componentes por não conformidades, derivadas de quedas destes essencialmente.

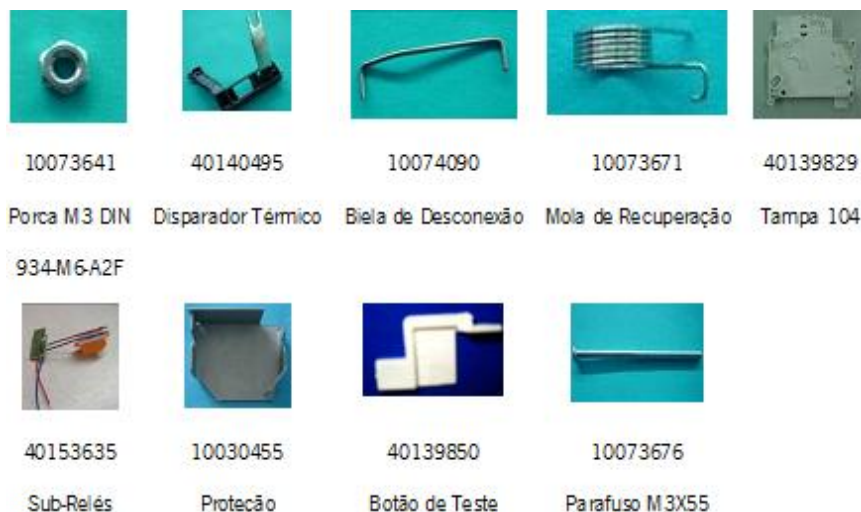


Figura 66 – Componentes consumidos no PT4

Na Tabela 11 descrevem-se as operações elementares realizadas neste posto, de acordo com a sua sequência, apresentando também os tempos destas.

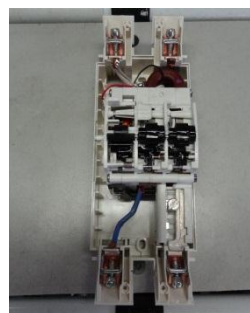
Tabela 11 – Operações elementares do PT4

| ID | Descrição da Operação | Tempo (seg.) |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 | Colocar porcas no JIG | 5 |
| 2 | Posicionar conjunto no JIG | 2 |
| 3 | Encaixar o disparador térmico | 2 |
| 4 | Encaixar a biela de desconexão | 3 |
| 5 | Encaixe do botão de teste | 2 |
| 6 | Montagem do subconjunto Relé e Proteção da mesma, montagem deste conjunto na base e ajustamento dos fios | 7 |
| 7 | Encaixar mola de torção na tampa e encaixar conjunto no módulo | 7 |
| 8 | Encaixe de três parafusos e aparafusamento destes | 9 |
| 9 | Posicionar tranças | 5 |
| 10 | Verificar calibração do bimetal | 1 |
| 11 | Teste ao disparador | 1 |
| 12 | Lubrificar bielas dos manípulos e abertura rápida | 2 |
| Total | | 46 |

Este posto está à responsabilidade da operadora 3. Para seu auxílio na montagem, a operadora dispõe das seguintes ferramentas, um alicate, uma pinça, o calibre específico do modelo em produção, para verificar a calibração feita no PT1, e um recipiente com lubrificante, fazendo também uso de uma aparafusadora presente no PT.

4.2.5. POSTO DE TRABALHO 5

Neste posto de trabalho (Figura 67) são realizadas todas as soldas necessárias no disjuntor, sendo a única operação de montagem executada o encaixe do conjunto na base do disjuntor.

**Figura 67 – Posto de Trabalho 5****Figura 68 – Disjuntor montado à saída do PT5**

Na Figura 68 podemos ver o conjunto intermédio anterior, depois de realizadas as operações elementares, já encaixado na base do disjuntor (Figura 69).



40166950
Base 2P Branco

Figura 69 – Componente consumido no PT5

Em seguida podemos consultar os tempos das operações elementares, assim como a sua sequência de execução, na Tabela 12.

Tabela 12 – Operações elementares do PT5

| ID | Descrição da Operação | Tempo (seg.) |
|--------------|---------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 | Lacrar porcas e cabeça do parafuso de shunt | 7 |
| 2 | Colocar base no terminal comprido, e em seguida no JIG | 4 |
| 3 | Posicionar borne do neutro na base e arrumar respetiva trança | 2 |
| 4 | Passar fio preto do magnético pelo núcleo | 3 |
| 5 | Posicionar bornes do magnético na base | 4 |
| 6 | Soldar os quatro fios (branco, azul, rosa e preto) | 24 |
| 7 | Pressionar base de forma a encaixar no terminal comprido | 2 |
| 8 | Passar conjunto para o posto seguinte | 1 |
| Total | | 47 |

No PT5 a operadora faz uso de um alicate para posicionar as tranças, utiliza lacre nas porcas de modo a lacrar o aparelho e executa as soldaduras utilizando um pequeno equipamento para o efeito, denominado de “ferro”. Também este PT é da responsabilidade da operadora 3 que, ao invés das suas colegas, processa disjuntor a disjuntor nos dois postos de que está encarregue.

Neste posto identificou-se como problema a troca dos contentores das bases, componente consumido, que implica o debruçar da operadora por cima da mesa de trabalho num movimento longo. Também se identificou a falta de um segundo ferro para a realização de soldas no posto anterior quando o modelo

em produção for o 2P1030ND, que requer realização de soldas no PT4. O tempo de *setup* associado a esta situação varia significativamente, uma vez que não existem ferros suplentes suficientes para que todas as células possam trabalhar com 2 equipamentos ao mesmo tempo, e ainda haver um destes em cada PT da Reparação. Deste modo, sempre que tal necessidade surge, existe um grande arranjo na alocação dos equipamentos e no planeamento da produção, uma vez que todas as células não podem produzir em simultâneo disjuntores que necessitem de soldaduras em dois PT.

4.2.6. POSTO DE TRABALHO 6

Neste posto (Figura 70) é realizado o fecho parcial do disjuntor, isto quer dizer que apenas são conformadas as tranças do aparelho e colocada a tampa sobre este (Figura 71).



Figura 70 – Posto de Trabalho 6



Figura 71 – Disjuntor montado à saída do PT6

Os componentes consumidos no PT6 apresentam na Figura 72 abaixo apresentada.



Figura 72 – Componentes consumidos no PT6

Na Tabela 13 podemos ver a sequência operatória, bem como a descrição das operações elementares realizadas e os seus tempos de execução.

Tabela 13 – Operações elementares do PT6

| ID | Descrição da Operação | Tempo (seg.) |
|----|-----------------------------------------|--------------|
| 1 | Análise de todos os pontos de soldadura | 4 |
| 2 | Encaixar núcleo na base e ajustar fios | 4 |

| | | |
|--------------|---------------------------------------------------|-----------|
| 3 | Teste ao manípulo | 1 |
| 4 | Encaixar roda de calibração e inserir cremalheira | 5 |
| 5 | Fechar o aparelho com tampa central | 4 |
| 6 | Colar etiqueta | 2 |
| 7 | Encaixar tampa inferior | 3 |
| Total | | 23 |

Este PT é ocupado pela operadora 2, que a cada dois conjuntos montados no PT3 se dirige ao PT6 para processar dois disjuntores. A operadora dispõe neste posto de uma chave de fendas para conformar as tranças no interior do disjuntor e de uma lupa para fazer o controlo da qualidade das soldas realizadas no PT5, uma vez que é exigência de qualidade estas serem verificadas por outro operador.

A este posto apontou-se problemas relacionados com a troca de contentores do componente consumido assim como no posto transato.

4.2.7. POSTO DE TRABALHO 7

O disjuntor é finalizado no posto de trabalho 7 (Figura 73). Neste posto o disjuntor é fechado, colocado o componente para a interação humana, e testada a sua continuidade, sendo o seu aspeto final o apresenta na Figura 74.



Figura 73 – Posto de Trabalho 7



Figura 74 – Disjuntor finalizado à saída do PT7

Na Figura 75 podemos ver o último componente a ser montado no disjuntor na célula.



40139856 Bloqueador de Manípulos

Figura 75 – Componente consumido no PT7

Em seguida podemos ver a descrição das operações e o seu tempo associado, e a ordem de execução destas.

Tabela 14 – Operações elementares do PT7

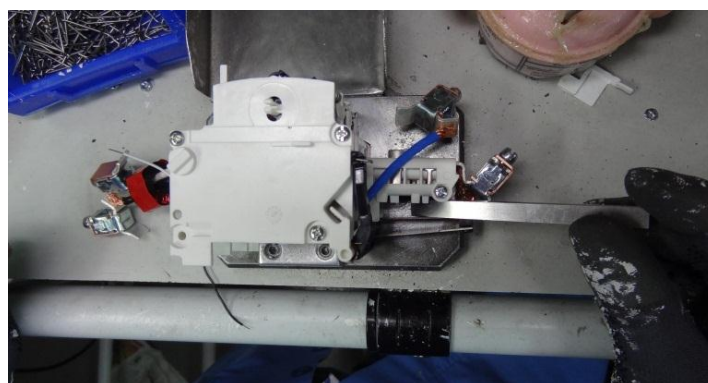
| ID | Descrição da Operação | Tempo (seg.) |
|--------------|------------------------------------|--------------|
| 1 | Colocar módulo na máquina de teste | 2 |
| 2 | Fecho do aparelho | 6 |
| 3 | Colocar bloqueador | 3 |
| 4 | Teste de continuidade | 10 |
| 5 | Teste ao manípulo | 1 |
| Total | | 22 |

A operadora responsável por este PT é a número 2. Assim conclui-se que os postos a que esta está afeta são o PT3, PT6 e PT7. Nestes dois últimos, atendendo ao facto de as operações realizadas são de cariz automático, um ciclo realizado por equipamento, a operadora aproveita esse tempo de espera para voltar ao PT6 e adiantar um outro disjuntor.

A operadora não necessita de qualquer ferramenta neste posto de trabalho, apenas utilizada a máquina de teste de continuidade que realiza a operação de fechar o disjuntor e testar, e o scanner de produção, onde passa o disjuntor antes de o colocar no carrinho, que depois de cheio é encaminhado para a próxima etapa no processo produtivo.

4.2.8. PONTOS DE CONTROLO NA CÉLULA

Ao longo do processo produtivo na célula de produção são realizadas 3 operações de controlo. A primeira operação deste tipo é realizada no final do PT4, onde a operadora verifica a calibração do bimetálico realizada no PT1 por meio de um calibre, ajustando-o se necessário com um alicate. Esta calibração é referente à distância do bimetálico à zona Shunt (Figura 76), podendo ser de 7 ou 8 milímetros, consoante o modelo em produção.

**Figura 76 – Calibração do Bimetálico**

O segundo controlo consiste na verificação da qualidade das soldas realizadas no PT5. Este controlo é efetuado no PT6 pela operadora 2, sendo uma exigência de qualidade que o controlo seja feito por uma operadora diferente da que executa as soldas, que neste caso é a operadora 3. Para realizar esta tarefa, a operadora dispõe de uma lupa no PT6 (Figura 77).

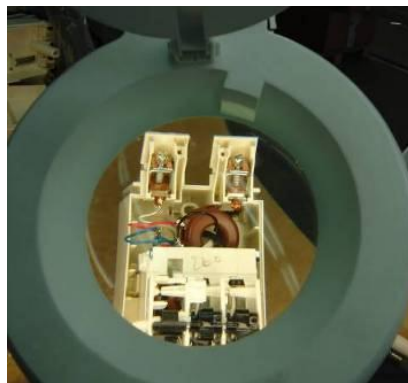


Figura 77 – Controlo da Qualidade das Soldas

Em último lugar, nas operações de controlo, realiza-se o teste de continuidade no PT7, o qual consiste em passar corrente no disjuntor de forma a saber se existe algum problema de montagem que impossibilite a sua passagem, e ainda se este dispara. Para este fim é utilizado um equipamento automático (Figura 78) que arma o aparelho e faz passar a corrente.



Figura 78 – Teste de Continuidade

Durante a realização deste projeto, e já numa fase de implementação de melhorias propostas, foi introduzida uma nova operação de controlo na produção de disjuntores bipolares pelo Departamento de Qualidade. Esta consistia no controlo da força de disparo do Relé, a qual não pode exceder os 300 nanonewtons, por meio de um dinamómetro (Figura 79) colocado na célula.

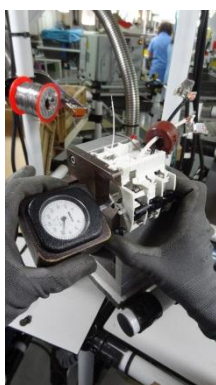


Figura 79 – Controlo da força de disparo do disjuntor

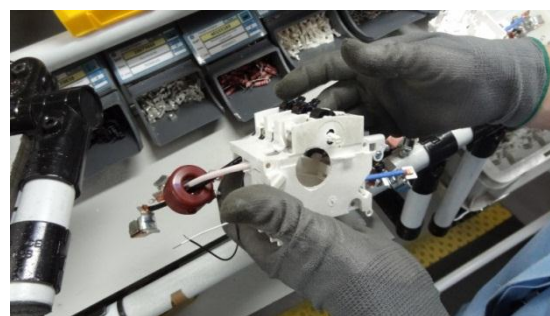


Figura 80 – Colocação da Tampa 104 Especial

Esta operação era realizada no final do PT3, implicando a montagem provisória de uma tampa 104 especial para o efeito, consumindo no total 20 segundos. Desta forma aponta-se como um contratempo ao projeto, que obrigou à alteração do balanceamento dos PT.

4.2.9. ABASTECIMENTO DA CÉLULA

Para a produção de um disjuntor do modelo 2P1545S são necessários 51 componentes diferentes. O abastecimento destes aos postos de trabalho nas células é assegurado por duas *Waterspiders*, responsáveis pelo abastecimento de todo o ELCB.

A frequência de abastecimento de componentes era irregular e a quantidade abastecida não era normalizada nem relacionada com qualquer tipo de *stock* ou ritmo de consumo. Na maior parte dos casos, as operadoras chamam a *Waterspider* em voz alta, mencionando ao mesmo tempo o componente que precisam, baseando-se no seu ritmo de trabalho e muitas vezes influenciadas pelo medo de parar quando ainda dispõe de uma quantidade razoável de componentes. A *Waterspider* por sua vez, abastecia a quantidade que achasse suficiente ou até a operadora estar satisfeita, resultando em mais de 6000 componentes de um só tipo num posto para um consumo diário de aproximadamente 760 componentes desse tipo, caso este que foi contabilizado pelo autor no fim de um dia de trabalho. No entanto nem sempre esta resposta ao pedido é imediata, podendo a *Waterspider* encontrar-se a abastecer outra célula ou secção produtiva, não se encontrar no piso, e até por vezes devido a esquecimento por parte deste.

Noutras ocasiões, a falta de componentes provenientes da secção produtiva de soldaduras implicava o racionamento dos componentes disponíveis entre células, levando muitas vezes à alteração do plano produtivo diário.

Na análise do funcionamento das células de produção identificou-se situações prejudiciais ao trabalho das operadoras causadas pela presença da *Waterspider* e pelo abastecimento que esta executa. Para abastecer o PT3 a *Waterspider* entra literalmente na área de trabalho da operadora 1 (Figura 81) devido ao *layout* celular, impedindo esta de trabalhar enquanto faz o abastecimento.



Figura 81 – Local de trabalho da Operadora 1

Situação idêntica acontecia na área de trabalho das operadoras 2 e 3, onde a *watersiper* tinha de entrar para fazer o reabastecimento da bisnaga de lubrificante no PT3 e do recipiente de lubrificante no PT4 (Figura 82).

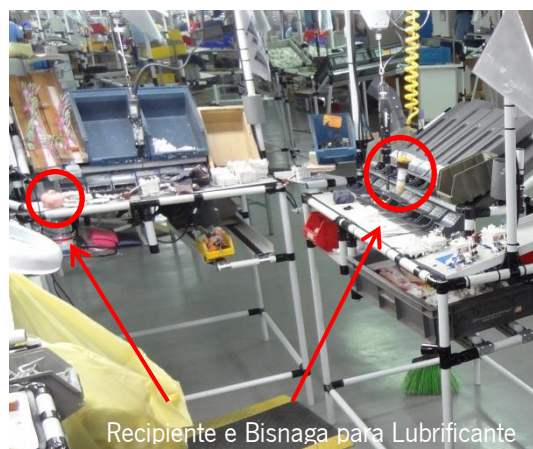


Figura 82 – Local de trabalho das Operadoras 2 e 3

Ainda no abastecimento do PT6 a mesma situação ocorre com a *waterspider* a ocupar este posto (Figura 83), exceto para a “tampa do disjuntor”, que é abastecida a partir de fora da célula.



Figura 83 – Local de trabalho da Operadora 2

O *Waterspider* é ainda responsável pelo bordo de linha nos postos de trabalho. Na Figura 84 pode ver-se um exemplo onde excessos de bordo de linha são colocados em espaços para o retorno de contentores vazios para fora da célula ou no chão dentro de outros contentores.



Figura 84 – Vista do PT1 de fora da célula

Ao invés de seguir um ciclo de abastecimento racional, a *Waterspider* realiza este de forma continua ao longo do dia, abastecendo os tubos de componentes e espaços para contentores até não caberem mais.

4.3. IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS

Para iniciar esta secção, começa-se pela apresentação do cálculo do *Takt Time* (TT) para as condições impostas no projeto, que é a resposta a uma procura diária de 2100 disjuntores com a utilização de 7 células num turno com 7,35 horas de tempo efetivo de produção. Na equação abaixo apresentada pode-se ver esse cálculo.

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ Total\ Disponivel/Turno}{Quantidade\ Necessária/Turno} = \frac{7,35 \times 60 \times 60 \times 7}{2100} = 88,2\ seg/peça$$

Conclui-se então que existe a necessidade de tornar o processo mais rápido, uma vez que este valor de TT é inferior a 100,2 segundos, respetivamente o valor de Tempo de Ciclo do ano 2011, obtido mediante dados fornecidos pela empresa referentes a esse ano (Anexo 9).

Obtido este valor, foi realizada uma comparação entre este e o tempo de ciclo (TC) de cada PT das células, criando para o efeito a Figura 85. A partir desta conclui-se que o TC de cada PT está abaixo do TT.

Como se verifica que o TT foi de 100,2 segundos em 2011 então será necessário melhorar a célula. A Figura 85 mostra que o TC em cada PT está bastante abaixo do TT, mas tal pode induzir em erro porque não trabalham sete operadoras na célula.

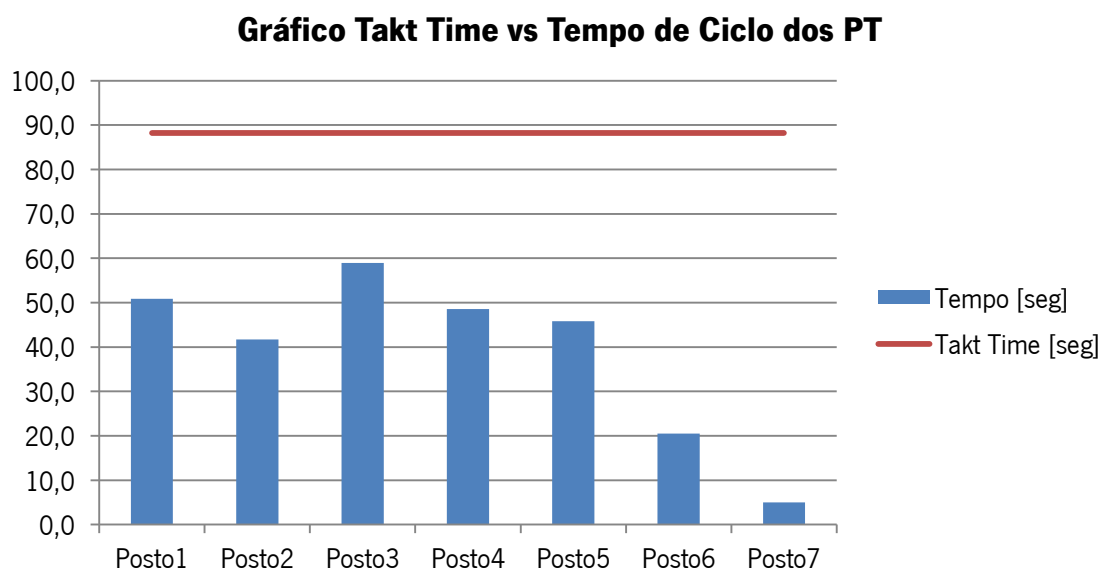


Figura 85 – Gráfico comparativo do TT e TC dos PT

Nesse sentido, numa análise diferente, onde se comparam o TC por operadora com o TT (Figura 86) verificou-se a existência de um grande desnivelamento dos tempos produtivos das operadoras, e que mesmo nivelados, estes se manteriam acima do TT como atualmente se encontram.

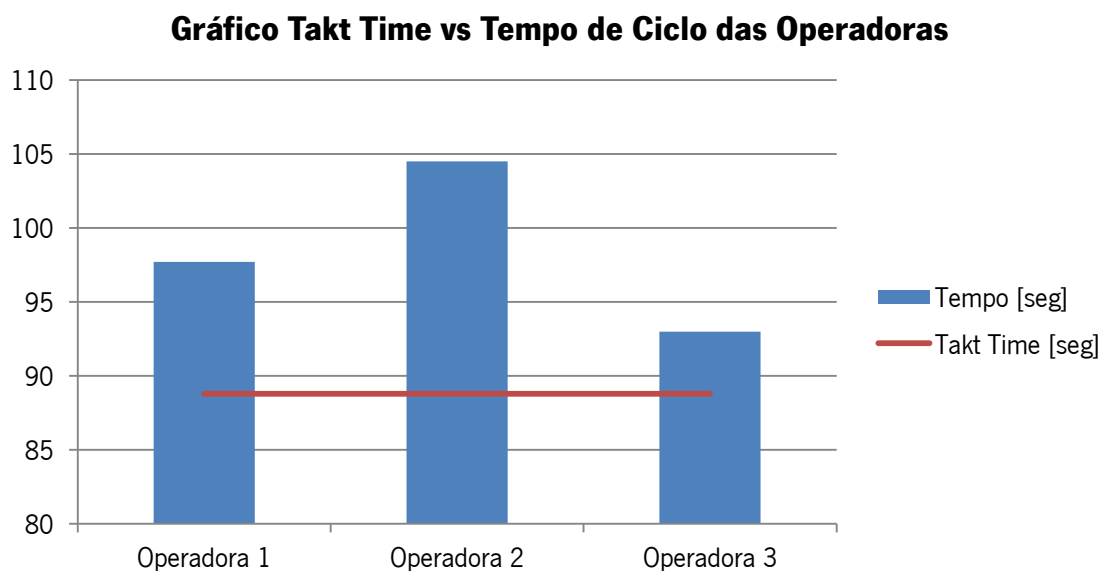


Figura 86 – Gráfico comparativo do TT e TC das Operadoras

Posto isto, o autor procedeu à observação dos postos de trabalho, tendo dialogado com as operadoras e experimentado a montagem de um disjuntor bipolar, aprendendo para esse efeito o processo de produtivo. Desta forma foi possível identificar erros no processo a partir da perspetiva das operadoras.

4.3.1. PRODUÇÃO EMPURRADA

Verificou-se que a produção de disjuntores bipolares é empurrada, o que quer dizer que as diversas áreas produtivas processam todos os trabalhos que recebem sem saber se a área adjacente tem necessidade de disjuntores, o que resulta em problemas como sobre produção e WIP. Tal facto sucede devido à não existência de qualquer tipo de ferramenta de apoio e controlo da produção, que permitisse às secções posteriores emitirem necessidades de produção para as secções anteriores, de acordo com o sistema *Pull*, característica do LM.

4.3.2. MODO OPERATÓRIO DESADEQUADO

O modo operatório identificado nas células foi uma tentativa de aproximação ao *Working Balance*, que poderia resultar muito bem não fosse o *layout* das células e a consequente restrição nas possibilidades de balanceamento. Esta falta de equilíbrio dá origem a um *Bottleneck* no PT3, fruto da acumulação de WIP no espaço transitório de conjuntos entre este e o PT2, que por sua vez, leva a operadora 3 nos postos 4 e 5 a balancear-se intuitivamente e processar peça a peça, ao contrário dos dois conjuntos de

cada vez como a operadora 1 e 2, de forma a dar tempo à operadora 2 de processar conjuntos no PT3 e libertá-los para o PT4.

4.3.3. FALTA DE NORMALIZAÇÃO NA DISPOSIÇÃO DE COMPONENTES

O autor decidiu aprender o processo de montagem dos disjuntores e tentar por si só montar na totalidade um disjuntor, tendo para esse fim procurado a ajuda e ensinamentos das operadoras. Com este tipo de experiência foi possível tomar conhecimento e ter noção de problemas que só pela observação eventualmente passariam despercebidos. A disposição dos componentes foi um aspeto que se destacou, pelo facto de os mesmos postos em células diferentes terem uma disposição de componentes diferentes e a dificuldade que existe em pegar em alguns destes devido ao seu formato.

A diferente disposição dos componentes entre células traduz-se na falta de flexibilidade das operadoras, que em situações de troca de célula, por exemplo, por falta de alguém, tinham dificuldade em produzir ao mesmo ritmo que no posto de trabalho onde estão maioritariamente, uma vez que os componentes não estão dispostos da mesma maneira.

Olhando particularmente para os componentes, na Figura 87, relativa ao PT1, destacam-se os componentes provenientes da secção produtiva das soldaduras como problemáticos aquando da retirada de um dos contentores em que se encontram para serem montados. Tal sucede dada a sua forma, que dá origem a um grande e denso emaranhado.

No PT2 (Figura 88) a mesma situação também se verifica no conjunto térmico, componente destacado à direita na imagem. Neste posto ainda se identificou a destruição de algumas câmaras de extinção, componente destacado à esquerda, devido ao facto de estas virem do fornecedor em caixas de papelão, e depois serem depositados no contentor apresentado na figura por um movimento de gravidade, resultando assim em câmaras partidas e inutilizadas.

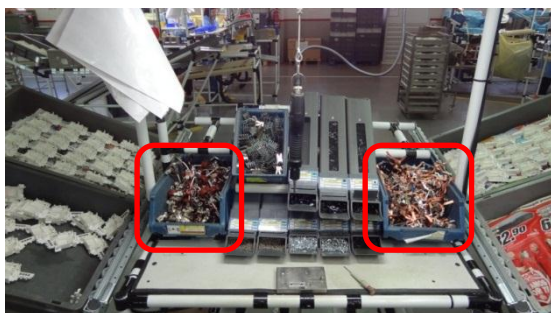


Figura 87 – Apresentação de componentes no PT1



Figura 88 – Apresentação de componentes no PT2

Na Figura 89 temos um outro componente que pela sua forma emaranha-se o que torna difícil a simples tarefa de pegar num destes componentes, no caso trata-se da mola de teste, e na Figura 90 temos dois casos de componentes que se danificam devido ao contentor e modo como este é disponibilizado no posto, são eles os relés à esquerda e as transmissões térmicas à direita.



Figura 89 – Apresentação de componentes no PT3



Figura 90 – Apresentação de Componentes no PT4

Em todas estas situações mencionadas, identifica-se a perda de componentes como sucata, devido à forma como estes são apresentados, forma esta que também consome tempo às operadoras na medida em que têm de procurar a melhor forma de pegar somente em um.

4.3.4. FALTA DE ORGANIZAÇÃO NO RETORNO DE CONTENTORES DE COMPONENTES VAZIOS

Na observação dos PT e nas discussões com as operadoras, o autor constatou a dificuldade destas em realizar a troca dos componentes maiores no PT5 e PT6, nomeadamente as bases e tampas dos disjuntores. Esta operação era morosa e de difícil execução, uma vez que a operadora tinha a necessidade de se debruçar sobre o seu posto para alcançar o contentor cheio na retaguarda do suporte de contentores e puxá-lo para si. Estes contentores quando cheios apresentam um peso médio de 9 Kg.

Como se pode ver na Figura 91, existe um espaço central comum para tanto o PT5 e o PT6 colocarem os contentores vazios, de modo que a *Waterspider* os possa recolher, e os espaços laterais para a colocação de contentores cheios.



Figura 91 – Sistema de troca de contentores no PT5 e PT6

Também no PT3 e PT2 existem dificuldades com a troca de contentores, e arrumação dos vazios enquanto não são recolhidos. Na Figura 92 pode-se ver o aglomerado de contentores no lado direito do PT3, que quando cheios são colocados no espaço central do posto, por baixo da mesa de trabalho, situação idêntica à que se verifica no PT2.



Figura 92 – Bordo de linha e contentores vazios no PT3 e PT2

Por ser assim, muitas vezes as próprias operadoras param o seu trabalho para fazerem a troca dos contentores.

4.3.5. FALTA DE QUALIDADE DOS DISJUNTORES

No que à qualidade dos disjuntores bipolares diz respeito, sabe-se que em 2011 ocorreram 32774 não conformidades, distribuídas por 155 tipos de defeitos. Deste vasto leque de defeitos é possível ainda saber, através de uma extensa análise ABC, que 20 tipos de erro (13%) representam 77% das não conformidades detetadas. Na Figura 93 apresenta-se o Gráfico de Pareto, fornecido pela empresa, relativo à análise ABC dos tipos de defeitos. A partir deste constata-se que os 20 tipos de defeitos mais representativos compreendem-se entre o defeito DMD1 – Falha mecânica, DG88 – Manípulo não recupera e o defeito DMD6 – Fase está aberta.

A causa destes defeitos pode provir quer da montagem quer do material, ou seja, pode ser causado internamente na empresa ou no fornecedor.

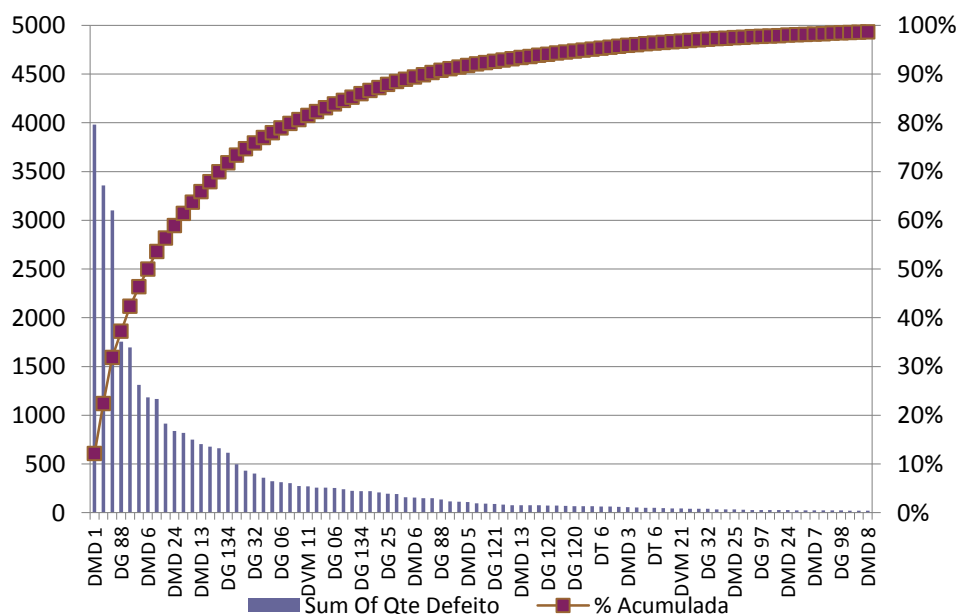


Figura 93 – Gráfico de Pareto dos tipos de defeitos dos disjuntores bipolares

Dentro destes defeitos, o DT1 – disparo rápido do disjuntor à passagem de corrente no térmico, foi identificado como alvo no evento *Action Workout* (AWO), dado que 15% de todos os disjuntores testados na verificação térmica no ano 2011 foram rejeitados, o que representa 4916 disjuntores em 32774.

4.3.6. BAIXA PRODUTIVIDADE DAS CÉLULAS DE PRODUÇÃO

No entanto a produtividade desta é afetada por problemas não das células mas também do meio envolvente, isto é, de toda a cadeia de valor em que se inserem. De forma a entender a influência desses outros fatores na produtividade elaborou-se o diagrama de Ishikawa apresentado na Figura 94. A partir deste conclui-se que as causas para a paragem da produção e consequente afetação da produtividade das células de produção são muitas, e variadas.



Figura 94 – Diagrama de Ishikawa para a baixa produtividade

Destas causas, destacou-se o ambiente quase que hostil entre algumas operadoras, motivado pela desconfiança entre estas e como algumas conseguem atingir valores de produção diária por vezes com grande discrepância, sendo as condições de trabalho iguais para todas.

Posto isto, na equação abaixo apresentada pode ver-se que o valor da produtividade para uma produção média de 250 disjuntores, num turno de 7,35 horas para 3 operadoras é igual a 11,3 disjuntores/hora.homem.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Peças Produzidas/Turno}}{\text{N.º Operadoras} \times \text{Tempo/Turno}} = \frac{250}{3 \times 7,35} = 11,3 \text{ disj./hr. homem}$$

Um outro problema foi a não rotatividade dos postos, forçado por algumas operadoras e seguido por outras, em que estas se combinam na adjudicação dos postos de modo a serem o mais rápidas possível, atingindo desta forma a norma mais alta e consequentemente obtendo um prémio de produção maior.

4.4. SÍNTESE DOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS

De forma a melhor entender os problemas identificados durante esta análise apresenta-se em seguida a Tabela 15.

**Tabela 15 – Síntese dos problemas identificados**

| Descrição do Problema | Origem | Efeito |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Balanceamento dos PT desequilibrado | Células | Aumento de WIP e cansaço e folga das operadoras |
| Disposição de componentes não normalizada | Células | Abastecimento incorreto e redução da flexibilidade das operadoras |
| Procedimentos de abastecimento incorretos | Células/ <i>Waterspider</i> | Perturbação do processo produtivo e excesso de bordo de linha |
| Não seguimento das Instruções de Trabalho (IT) | Operadoras | Erros de processamento e rendimentos produtivos das operadoras diferentes |
| Dificuldade na troca de contentores | Células | Perda de tempo das operadoras na troca de contentores vazios por cheios |
| Emaranhado de vários componentes | Soldaduras/ Fornecedores | Perda de tempo ao tentar pegar num só componente e possível danificação de outros na ação |
| Tempo de <i>setup</i> dos ferros de soldar | Células | Alteração do planeamento da produção e falta de flexibilidade das células que não disponham de ferros |
| Danificação de componentes | <i>Waterspider</i> / Fornecedores | Gastos excessivos em componentes. |
| Não rotatividade das operadoras | Células | Desmotivação das operadoras, desinteresse pelo trabalho monótono |
| Produção empurrada (<i>Push</i>) | Processo Produtivo | Elevado WIP e dessincronização entre a produção e as necessidades do cliente |
| Demasiados defeitos do tipo DT1 | Células | Elevado nível de não conformidades e disjuntores para reparação |

Terminada a descrição e análise do processo produtivo dos disjuntores bipolares, segue-se agora o desenvolvimento de soluções que visem a diminuição, e se possível, eliminação de todos estes problemas, que se traduzem nos vários tipos de desperdício, de forma a atingir um aumento da performance das células e produção a todos os níveis.

5. AÇÕES DE MELHORIA

Inicia-se agora o capítulo onde são apresentadas as propostas de melhoria desenvolvidas e implementadas nas células de produção.

No sentido de chegar às melhores soluções, e implementar rapidamente as melhorias, o autor contou com a opinião e ajuda de todas as operadoras, dos colegas de estágio, João Loureiro e Carlos Gonçalves, do líder do departamento de *Lean* e Manutenção, o Eng. Rui Amaro, do funcionário Paulo Silva e do Eng. Rui Coelho.

5.1. REDUÇÃO DO NÚMERO DE DEFEITOS DO TIPO DT1

No âmbito de um evento *Action Workout* (AWO), o autor fez parte de uma equipa cuja responsabilidade era diminuir os valores do erro DT1 – disparo rápido do disjuntor à passagem de corrente no térmico, nos disjuntores do tipo 2P1545S, onde 15% dos aparelhos testados eram rejeitados. Neste sentido, após análise do processo com especial atenção para as causas do erro, foram propostas as seguintes melhorias.

5.1.1. FORMAÇÃO ÀS OPERADORAS

A primeira melhoria está relacionada com o modo incorreto de efetuar a calibração do bimetálico até aqui praticado nas células, onde o calibre é pousado sobre o bimetálico e encostado ao módulo (Figura 95), quando a distância a calibrar deveria de ser a interior entre estes dois.

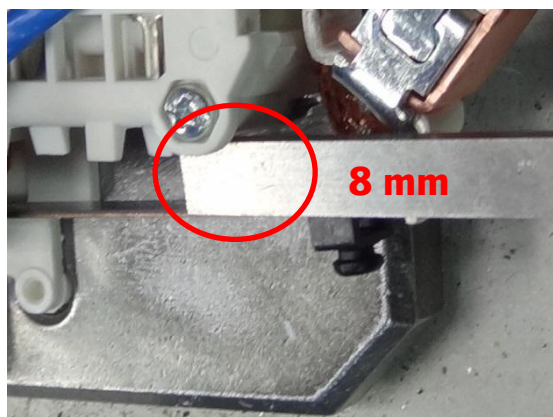


Figura 95 – Calibração antes do *Kaizen*

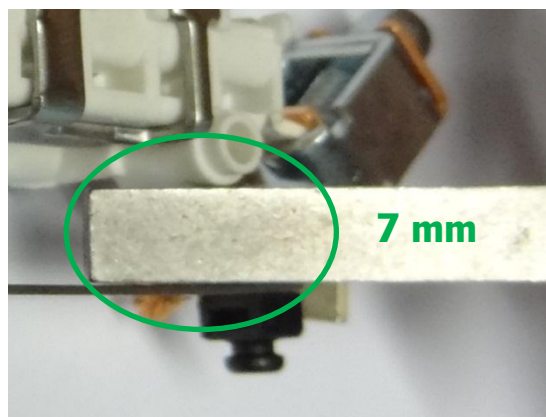


Figura 96 – Calibração depois do *Kaizen*

Deste modo foi dada formação a todas as operadoras do PT1 responsáveis por esta calibração, e às do PT4 responsáveis pela verificação da calibração de modo a realizarem corretamente a calibração como se ilustra na Figura 96.

5.1.2. ALTERAÇÃO DO CALIBRE

Uma outra proposta de melhoria foi a alteração da medida do calibre de 8 mm para 7 mm, uma vez que, ainda se verificava nos disjuntores já produzidos com a melhoria anterior 8% de rejeições. Para isso uma

amostra de disjuntores foi testada em laboratório, mediante o uso de um dinamômetro, para determinar qual a exata distância de flexão do bimetálico que faz disparar o disjuntor, concluindo-se que 7mm seriam suficientes.

5.1.3. NORMALIZAÇÃO DO APERTO

A última proposta realizada foi a standardização da operação relativa ao aperto do parafuso do térmico no PT1. A operadora ao invés de roscar o parafuso todo à direita como anteriormente (Figura 97), facto que influenciava a posição do bimetálico e assim a calibração do mesmo, passa agora a definir a posição “zero” do parafuso, isto é, o parafuso será roscado até o bimetálico encostar horizontalmente no módulo do disjuntor como se verifica na Figura 98, não influenciando assim nem a calibração no PT1, nem a calibração térmica nas linhas de teste.

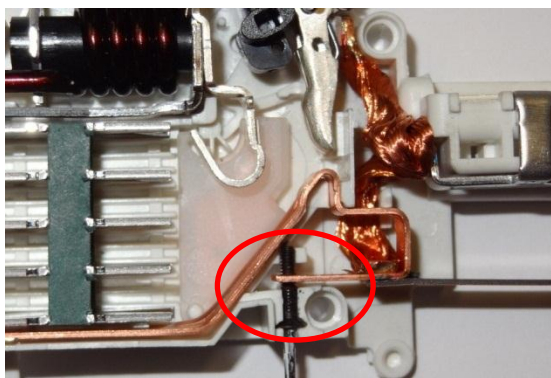


Figura 97 – Roscar parafuso antes da melhoria

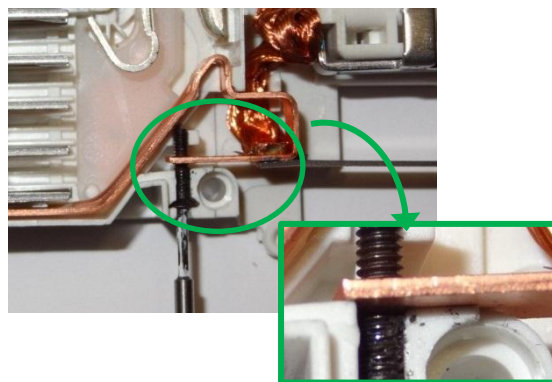


Figura 98 – Roscar parafuso depois da melhoria

Ainda relacionada com esta proposta de melhoria está a implementação de uma operação de verificação da posição deste parafuso no PT6, como se pode ver na Figura 99, de modo a assegurar que não passam disjuntores sem o parafuso do bimetálico na posição “zero”.

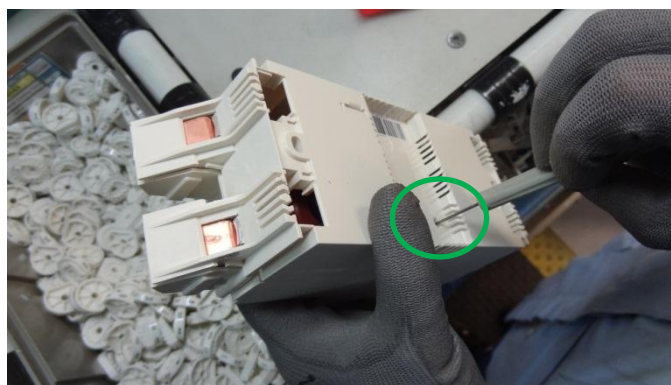


Figura 99 – Operação de controlo da posição do parafuso

Para serem implementadas em definitivo estas propostas de melhoria, durante o restante mês de Março e o mês de Abril foram analisados os dados dos disjuntores produzidos, referente ao número de rejeições pelo erro DT1. Após analisar estes valores e comprovar os benefícios das melhorias implementadas, as

instruções de trabalho (IT) foram atualizadas pelo autor com os novos valores de calibração térmica e com a nova operação de controlo.

5.2. DISPOSIÇÃO DOS CONJUNTOS DAS SOLDADURAS

De forma a eliminar o problema relacionado com o emaranhado dos conjuntos térmicos e neutros, foi proposta a criação de umas placas reutilizáveis. Nestas placas os componentes são colocados em posições padrão que facilitam a recolha de um só sem puxar um aglomerado destes, evitando desta forma a perda de tempo e a potencial danificação do componente.

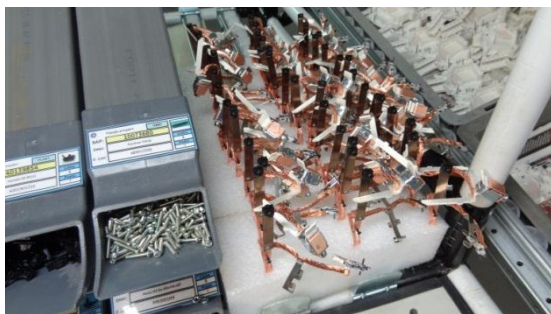


Figura 100 – Conjuntos Térmicos

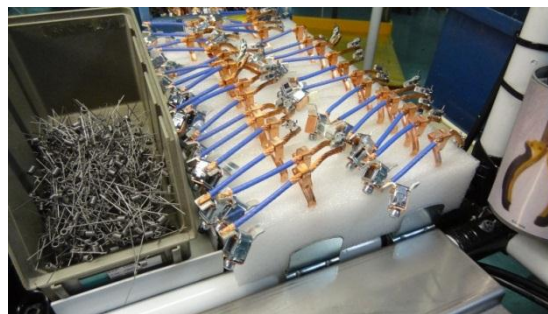


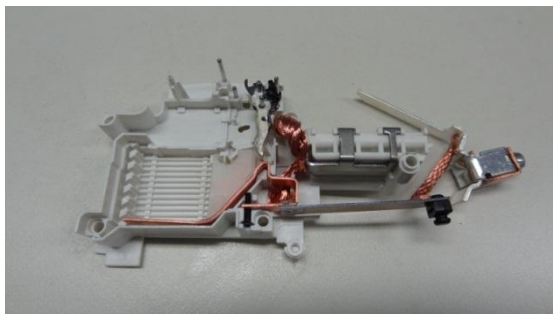
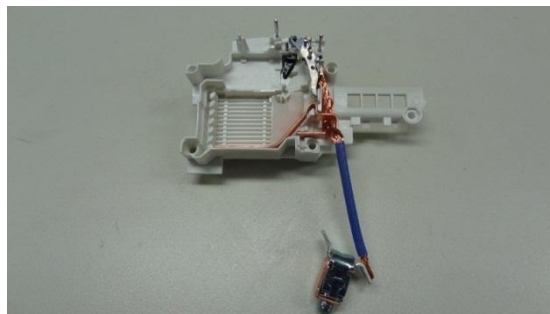
Figura 101 – Conjuntos Neutros

Na Figura 100 e na Figura 101 pode-se ver ambos os casos da aplicação da melhoria. Embora testada e com ganhos no tempo de ciclo, a adoção desta proposta implicava a realização de um evento *Kaizen* na secção produtiva das soldaduras, no sentido de introduzir as placas e a operação de colocar os componentes nestas no processo produtivo das soldaduras. Olhando à atual importância dessa secção para o funcionamento da produção, o momento não se mostra propício à realização de tal evento, ficando desta forma a sugestão do evento *Kaizen* ou até de um possível projeto de estágio para o futuro.

5.3. PRÉ-MONTAGEM DOS CONJUNTOS DAS SOLDADURAS

A proposta da introdução do conjunto térmico e do conjunto neutro pré montados nos módulos foi um projeto paralelo ao presente, levado a cabo pela Engenheira Leticia Loureiro, no qual o autor participou na recolha de dados, nomeadamente a opinião das operadoras, os tempos de processamento e a produtividade para amostras de 60 conjuntos.

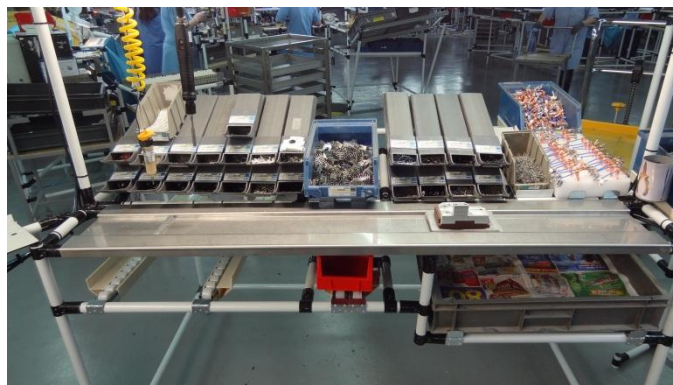
Na Figura 102 apresenta-se o conjunto térmico montado no módulo 101 e na Figura 103 o conjunto térmico montado no módulo 102.

**Figura 102 – Conjunto Térmico pré-montado****Figura 103 – Conjunto Neutro pré-montado**

Para decidir se esta proposta passaria a ação de melhoria foram realizadas duas amostras de 60 componentes cada. O resultado mostrou que a proposta era inviável, dados os custos associados à pré-montagem dos componentes, isto é, o valor do posto de trabalho criado para o efeito não justificava o ganho em produtividade nas células.

5.4. JIG MÓVEL

A implementação de um JIG móvel teve por objetivo reduzir o tempo de movimentação e facilitar esta movimentação entre o PT2 e o PT3. Uma vez que os dois postos são da responsabilidade da mesma operadora, ao implementar uma chapa de guia para um JIG que desliza ao longo dos dois postos, a operadora deixa de ter a necessidade de pegar na peça, deslocar-se com esta na mão, e voltar a posicioná-la no JIG do PT3, como se pode ver na Figura 104.

**Figura 104 – JIG Móvel implementado no PT2 e PT3**

Além deste aspeto, o JIG traz outra funcionalidade que evita o manuseio do conjunto intermédio para efetuar a colocação e aperto do shunt. Na Figura 105 podemos ver a operadora a rodar o JIG para uma posição vertical, evitando desta forma a retirada do conjunto do JIG. O movimento de rodar o JIG é feito durante o deslocamento da operadora para o PT3, o que reduz o tempo de manuseio por este ser em simultâneo com o de movimento entre os postos.

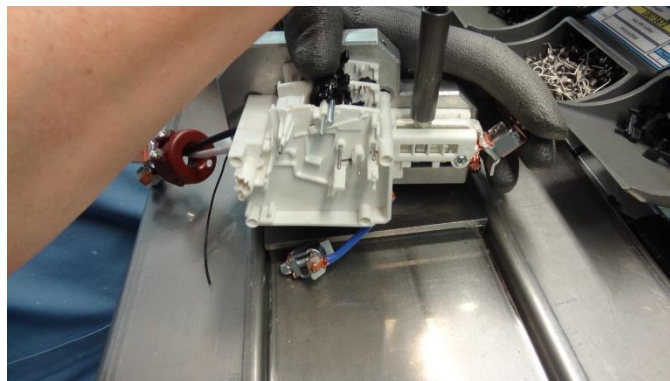


Figura 105 – Rotação do JIG no PT3

Esta proposta permitiu um ganho de 2 segundos no que concerne a tempo e, do ponto de vista ergonómico, a simplificação do movimento e a não existência de manuseamento do conjunto fora do JIG trouxe ganhos para o conforto da operadora na realização das operações.

Com esta proposta, nomeadamente com a funcionalidade da rotação do JIG, não conformidades no térmico originadas pelo manuseio do conjunto aquando do aperto do shunt deixam de ocorrer.

A implementação desta proposta tem como custos 30€ por chapa, o que perfaz um total de 210€ no conjunto das sete células. O JIG móvel já havia sido desenvolvido na GE, não tendo sido ainda implementado.

5.5. SISTEMA DE DESLIZE PARA O FERRO DE SOLDAR

Dada a escassez de ferros de soldar, e a constante avaria destes, não era possível ter dois equipamentos por célula aquando da produção de um disjuntor do tipo AC. Quando este entrava em produção era necessário fazer um acerto do planeamento, de modo a todas as células poderem funcionar, embora só uma ou duas, dependendo da disponibilidade de ferros, fosse produzir este tipo de disjuntores. Este segundo ferro nunca se encontrava nas células, ou estava em uso na secção de reparação ou em reparação própria, o que conferia elevado tempo de *setup* à célula na medida em que era necessário procurar por um ferro que estivesse disponível e fazer a sua instalação na célula.

Neste sentido foi proposto a implementação de um sistema de deslize para o ferro de soldar entre os postos de trabalho 4 e 5 (Figura 106). Quando o modelo em produção se trata de um disjuntor do tipo AC são realizadas soldas em ambos os postos, ao passo que nos restantes modelos apenas é necessária a realização de soldas no PT5.

Com este sistema, apresentado com maior detalhe na Figura 107, a operadora após concluir as operações do PT4, sendo a última destas a realização de solda, quando coloca de novo a pistola na estação de repouso do equipamento, ao invés de a largar para deslocar-se ao PT5 com o conjunto intermédio na mão, durante esse movimento de deslocação ela empurra o equipamento até a

extremidade do sistema. Finalizada a soldadura no PT5, a operadora no regresso ao PT4 volta a empurrar o equipamento até o outro extremo do sistema.

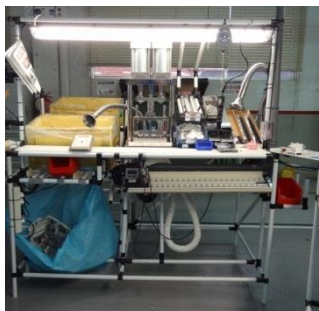


Figura 106 – PT4 e PT5



Figura 107 – Detalhe do ferro de soldar

Desta forma é possível com um destes equipamentos fazer qualquer tipo de disjuntor bipolar, independentemente dos pontos de solda na célula. Para esta proposta foi tida em atenção a posição do equipamento que não coloca-se em perigo de queimadura a operadora e que fosse ergonómica.

Tendo em conta um preço unitário de 475€, é possível poupar 4750€ se fosse intenção da empresa ter permanentemente dois equipamentos em cada célula, e guardar pelo menos três de reserva. Com esta proposta foi aumentado o tempo de utilização do recurso, que dobra para quando são necessárias duas soldas, e eliminado o tempo de *setup* que antes lhe era associado.

5.6. MECANISMO DE LUBRIFICAÇÃO

A par deste projeto o autor viu-se envolvido num outro projeto já existente para o desenvolvimento de um mecanismo de lubrificação. Ao longo do processo produtivo existem duas operações de lubrificação, realizadas no PT3 e PT4, as quais acrescentam tempo não produtivo ao processo. No sentido de mitigar o tempo desperdiçado com estas operações de valor não acrescentado existia uma proposta para um mecanismo que realizaria ambas as lubrificações num só posto de trabalho (Figura 108).



Figura 108 – Mecanismo de Lubrificação

Com o intuito de melhorar esta primeira versão da proposta, o autor em conjunto com o então também estagiário, o Engenheiro João Loureiro, desenharam e conceberam uma outra plataforma para o mecanismo de lubrificação, que parecia colmatar as falhas da versão anterior.

No entanto esta melhoria não foi implementada dada a falta de componentes eletrónicos, como sensores, e ainda por alguns problemas no doseamento do lubrificante, o qual por ser em excesso sujava os disjuntores.

5.7. TROCA DO CONTENTOR PARA AS CÂMARAS DE EXTINÇÃO

Um problema detetado que se revelou de fácil resolução foi o desperdício do componente “Câmaras de Extinção”. A produção deste componente está subcontratada a um fornecedor externo, que faz a entrega em caixas de papelão, que são colocadas no armazém após aprovação pela qualidade. No abastecimento deste componente, a *Waterspider* faz o transbordo das câmaras para o contentor representado na Figura 109. Esta ação resulta na danificação de componentes, os quais são impossíveis de recuperar.



Figura 109 – Câmaras de Extinção antes da melhoria



Figura 110 – Câmaras de Extinção depois da melhoria

A solução proposta foi acabar com o transbordo das câmaras colocando as câmaras nas células conforme vem do fornecedor, nas caixas de papelão. Esta proposta de melhoria foi implementada não só na secção produtiva dos disjuntores bipolares, mas também na dos disjuntores tetrapolares.

Para esta melhoria não houve nenhum custo imputado, apenas foi necessário instruir as *Waterspiders* para a alteração ao modo de como o componente em questão é abastecido. Desta forma foi possível eliminar o desperdício de câmaras de extinção por causa do abastecimento incorreto, e os contentores até aqui usados foram dispensados para outras funções.

5.8. CONTENTOR DAS TRANSMISSÕES TÉRMICAS

A proposta de melhoria para um novo contentor para o componente “Transmissão Térmica” justifica-se pelo mesmo motivo que a proposta anteriormente apresentada. Desta feita, na análise do PT4 identificou-se o desperdício de muitas transmissões térmicas, as quais se desmontavam facilmente ou danificavam a

ponto de ser consideradas sucata, devido ao contentor em que se encontram e pela posição em que este é colocado no PT4.



Figura 111 – Contentor das Transmissões Térmicas



Figura 112 – Protótipo de contentor para Transmissões Térmicas

Na Figura 112 apresenta-se o contentor protótipo desenvolvido numa fase inicial para tentar solucionar este problema. Este caracterizava-se por ter apenas um nível para os componentes e estar dividido em três colunas, enquanto que, no primeiro os componentes vinham divididos por uma folha de cartão em dois níveis.

Após o teste à funcionalidade do contentor, onde se avaliou a facilidade de retirar componentes pela operadora e o deslizamento dos restantes, sem que estes se danifiquem ou desmontem, foi concebido um contentor definitivo. Uma vez que o cartão não é o material mais adequado para o transporte destes componentes entre o fornecedor e a GE, a solução mais económica foi a conceção de novos contentores em chapa de 2 mm, com as divisórias em plástico (Figura 113).



Figura 113 – Novo contentor para Transmissões Térmicas

Com este tipo de contentor o desperdício de Transmissões Térmicas é eliminado e o tempo de pegar num componente não é alterado. O custo de produção de cada calha são 25€.

5.9. PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO DA CÉLULA PILOTO

Considerando as células atuais desatualizadas face às necessidades produtivas e alterações à cadeia de abastecimento, torna-se necessário a realização deste projeto. Para o projeto de melhoria das células de

produção não foram feitas alterações à família de produtos já definida. De acordo com a gestão de topo, o número de células seria para manter, sendo um dos objetivos da empresa com este projeto conseguir que estas laborem em apenas um turno, ao contrário da situação atual onde duas células trabalham durante dois turnos.

As propostas de melhoria apresentadas nesta secção foram inicialmente implementadas numa célula piloto, sendo posteriormente, após aprovação dos resultados obtidos pela gestão de topo, sido atualizadas para uma nova célula, que seria a primeira no processo de renovação das células.

5.9.1. LAYOUT DA CÉLULA

De encontro com as pretensões das chefias de topo, o autor projetou e construiu uma célula piloto, designada de célula Delta (Figura 114), onde testaria todas as propostas de melhoria apresentadas até aqui. Esta célula foi também alvo de observação crítica, no sentido de limar arestas antes de construir a célula modelo para as restantes, designada de célula Épsilon (Figura 115).



Figura 114 – Célula Delta



Figura 115 – Célula Épsilon

Na procura de um *layout* mais funcional, que conjugasse o espaço e aspetos das melhorias a implementar, o autor optou por um *layout* aproximado ao tipo em “U” como se pode ver na Figura 116.

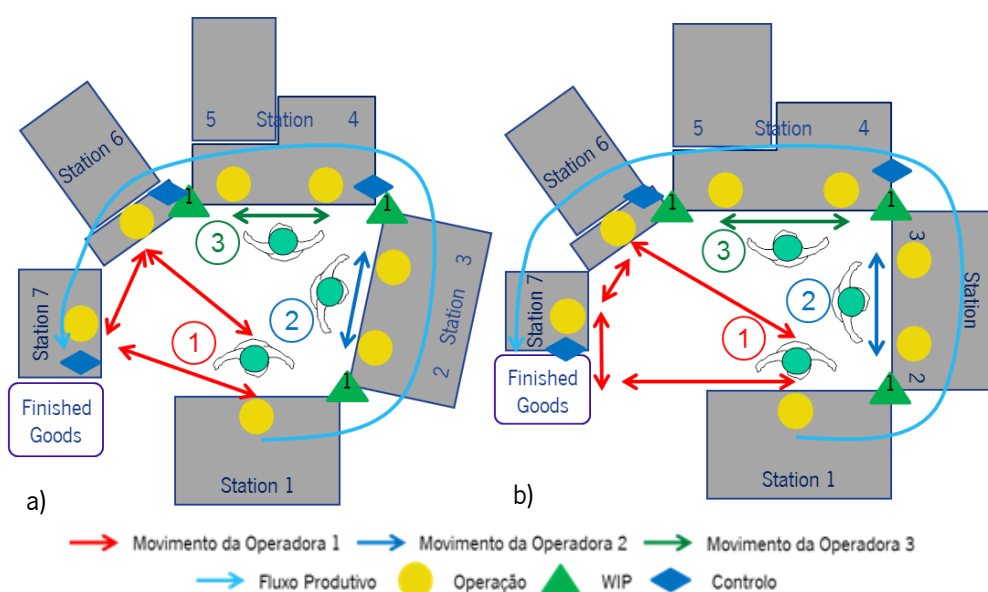


Figura 116 – a) Layout da célula Delta; b) Layout da célula Épsilon

O novo layout permitiu a introdução do JIG móvel, na medida em que era necessário unir as mesas de trabalho do PT2 e PT3, e a união das mesas de trabalho do PT4 e PT5 para a implementação do sistema de deslizamento para o ferro de soldar.

O modo operatório até aqui praticado era o *Working Balance*. Uma vez que não se justificava a troca do modo operatório, o atual sofreu algumas alterações em termos de afetação das operadoras aos postos de trabalho.

A conjugação do *Working Balance* com o novo *layout* trouxe melhorias à célula, nomeadamente a simplificação e facilitação da movimentação das operadoras, a melhor comunicação entre estas e a fomentação da entreajuda.

A conceção do novo *layout* teve ainda em conta a implementação de um projeto paralelo, levado a cabo pela engenharia de processo, no qual o autor tomou parte na fase final, contribuindo para o sucesso deste. Este projeto era o da introdução do fecho do disjuntor por meio de rebitagem em detrimento das operações realizadas com a colocação e aperto de parafusos e a cobertura das porcas com lacre. Este projeto encontrava-se em fase final de implementação, tendo sido realizado já um teste em produção com o intuito de avaliar a qualidade dos disjuntores produzidos com este novo processo, e a reação das operadoras a este novo equipamento. O custo total deste projeto foi de 22.002,750€, e o ganho possibilitado ao fim de um ano é de 26.833,90€. Os custos associados encontram-se apresentados mais detalhadamente na Tabela 23 no Anexo 10.

5.9.2. EQUILIBRAGEM DOS POSTOS DE TRABALHO

Após a definição do novo *layout*, impôs-se a necessidade de redefinir o balanceamento da célula. Este foi influenciado pelas propostas de melhoria implementadas e pela flexibilidade e funcionalidade do *layout* do tipo “U” conjugado com o modo operatório *Working Balance*. Deste modo, a operadora 1, que laborava no PT1 e PT2, tem agora à sua responsabilidade o primeiro posto da célula e os dois últimos, isto é, o PT1, PT6 e PT7. A operadora 2 por sua vez vê as suas responsabilidades passarem do PT3, PT6 e PT7 para o PT2 e PT3. Por fim a operadora 3 mantém-se afeta aos mesmos postos de trabalho do balanceamento anterior, o PT4 e PT5.

Na Figura 117 apresenta-se o balanceamento para as novas células, desenvolvido numa primeira instância com base nos tempos dos vídeos realizados na célula Beta, e numa segunda fase de acerto com base nos vídeos da célula Delta. Posteriormente, este veio a ser modificado dada a introdução da operação de controlo da força de disparo do disjuntor, a qual representa o acréscimo de 10 segundos no PT4, e a operação de controlo da posição do parafuso do térmico no PT6, que tem uma duração de 2 segundos.

Desta visão macroscópica do balanceamento conclui-se que este ainda se encontra desnivelado, apesar de os tempos de ciclo de duas operadoras já estarem abaixo do TT e o tempo operativo da última encontrar-se no limiar superior do TT, o que é já uma melhoria face aos valores apresentados na Figura 86 (secção 4.3).

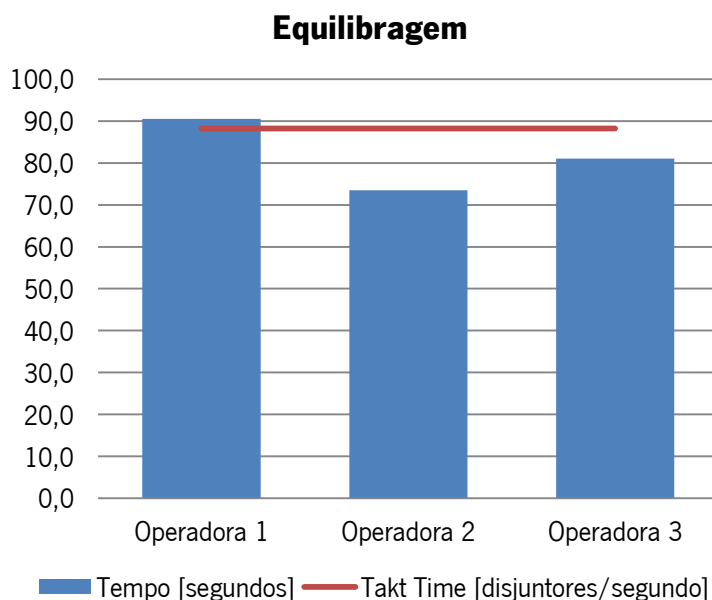


Figura 117 – Representação gráfica da equilibragem para as novas células

O balanceamento detalhado dos postos de trabalho, do qual resulta esta representação gráfica, encontra-se nas SWCS presentes no Anexo 11. A partir desse identifica-se ainda algum espaço para nivelar os tempos. Tanto o balanceamento como as SWCS foram produzidos pelo autor.

Deste modo propõe-se como melhoria, além do presente balanceamento, um ajuste que contemple a passagem das duas primeiras operações do PT2 para o PT1. Esta é a única flexibilidade na movimentação de operações entre postos, atendendo ao facto de que a distribuição destas é feita por fases do disjuntor, limitando assim as alterações a nível de sequência operacional.

5.9.3. NORMALIZAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DOS COMPONENTES NOS POSTOS DE TRABALHO

Os postos de trabalho foram todos reorganizados de modo a apresentarem uma disposição igual dos componentes, mais simples e inequívoca em todas as células. Esta melhoria possibilita assim a troca de operadoras entre células sem que seja necessário qualquer tempo de adaptação desta ao mesmo PT numa célula diferente. Para este propósito, a posição de todos os componentes em todos os postos de todas as células foi anotada e cruzada, de modo a obter uma disposição *standard* que fosse do agrado de todas as operadoras (Anexo 12). O esquema resultante, concebido pelo autor, encontra-se ilustrado no Anexo 13. A sua elaboração teve por base a posição mais consensual entre todas as células, procurando

assim uma posição que agrada-se a todas as operadoras e de um ponto de vista ergonómico fosse mais correto e as deixasse mais confortáveis.

Para complementar esta proposta, o autor levou a cabo a tarefa de atualizar todas as IT dos vários disjuntores bipolares.

Desta forma, a conjugação de todas as propostas descritas até aqui resultaram na construção da célula Épsilon, que seria o modelo para a atualização das restantes células da secção produtiva bipolar. Nas figuras que se seguem apresentam-se os postos de trabalho da célula resultante deste projeto.

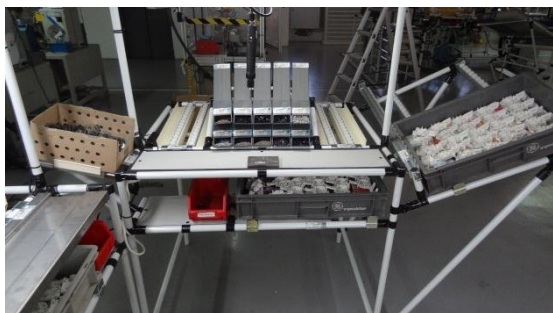


Figura 118 – Aspeto final do PT1 (Célula Épsilon)



Figura 119 – Aspeto final do PT2 e PT3 (Célula Épsilon)



Figura 120 – Aspeto final do PT4 e PT5 (Célula Épsilon)



Figura 121 – Aspeto final do PT6 e PT7 (Célula Épsilon)

Nestas figuras destaca-se a organização, limpeza e flexibilidade produtiva da nova célula, com a qual se espera atingir o objetivo de produtividade proposto.

5.9.4. ABASTECIMENTO DA CÉLULA

Na construção da célula Delta e Épsilon, um outro aspeto visado nas propostas de melhoria foi o abastecimento e a constante mistura e queda de componentes, resultante de uma má realização deste. Para suplantar estes problemas interveio-se sob várias formas ao longo de toda a célula. Por si só, a construção mais organizada e sustentada da nova célula contribuiu para a simplificação do abastecimento, na medida em que existe uma separação dos espaços de abastecimento mais ergonómica, e os espaços para cada componente estão devidamente identificados com etiquetas (Figura 122). Estas etiquetas também se encontram do lado interior da célula para que a operadora identifique

mais facilmente o componente a pegar e a posição, podendo detetar mais cedo alguma mistura de componente que a *Waterspider* tenha cometido.



| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Posição armazem: | GCA3 |  |
| SAP: | 40140444 | | |
| Desc: | Conjunto Alavanca do Relé | Linha | Épsilon |
| C .Loc: | AB90126C1 | Posto | 3 |

Figura 122 – Etiqueta para identificação de componentes

Foi proposto também um funil para o abastecimento dos componentes (Figura 123) que são dispostos em tubos de plástico, uma vez que a *Waterspider* fazia o abastecimento manualmente, deixando cair assim muitos componentes. Este funil foi desenvolvido em conjunto com os Engenheiros e colegas, também estagiários na altura, João Loureiro e Carlos Gonçalves. Em conjunto com o doseador criado pelo Engenheiro Carlos, o funil mostrou-se um instrumento capaz de suplantar os problemas de abastecimento nos tubos de plástico, como se pode ver pela Figura 124.



Figura 123 – Funil para o abastecimento



Figura 124 – Abastecimento da célula com o funil

Além desta proposta, foram ainda concebidos dispositivos de simples implementação, que visam o retorno dos contentores de componentes vazios para a retaguarda das células, eliminando deste modo a presença destes no chão, ou a presença da *Waterspider* no interior das células para fazer a recolha destes. Exemplo disso é a Figura 125 onde se apresenta um espaço aproveitado no PT1 para o retorno de um contentor vazio, e a Figura 126 referente ao PT3.

**Figura 125 – Retorno de contentor vazio no PT1****Figura 126 – Retorno de contentor vazio no PT3**

No PT4 também foi melhorado o abastecimento de um componente em particular, os Relés. O sistema apresentado na Figura 127 facilita a troca de calhas deste componente por parte da Waterspider. No entanto, após experimentação em outras células, constatou-se existirem algumas queixas por parte das operadoras quanto à dificuldade em retirar um componente de cada vez.

Um projeto paralelo levado a cabo pela Engenheira Leticia Loureiro visa a simplificação deste movimento. O projeto consiste em alargar as calhas em cerca de meio milímetro de modo a possibilitar o deslize dos relés dentro das calhas, e assim o total sucesso desta proposta de melhoria.

**Figura 127 – Sistema para o Abastecimento dos Relés**

Para o PT5 e PT6 foi desenvolvido um mecanismo mais elaborado para realizar a troca dos contentores de Bases e Tampas, que exigisse menos esforço físico e tempo da parte das operadoras. Neste sentido, o autor com a preciosa ajuda do Técnico Paulo Silva, concebeu o mecanismo manual representado na Figura 128.

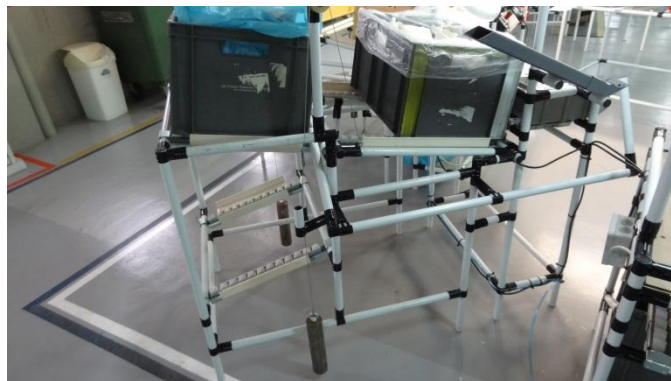


Figura 128 – Mecanismo Manual para a Troca de Contentores no PT5 e PT6

Este mecanismo é uma adaptação de um sistema de contrapesos com roldanas, onde o contentor Azul quando vazio, por ação do operador no interior da célula que levanta uma alavanca, faz com que esse contentor avance para a posição da Figura 129, onde espera pela recolha da *Waterspider*. Em seguida o operador retira um travão a partir do interior da célula que vai permitir o deslize do contentor amarelo para a posição da Figura 130.



Figura 129 – Troca de contentor, Posição 1



Figura 130 – Troca de contentor, Posição 2

Com a proposta deste mecanismo espera-se contabilizar ganhos no campo ergonómico, pela facilidade da operação de troca dos contentores, e a simplificação do abastecimento deste tipo de contentores. O custo de construção deste mecanismo está contemplado na contabilização do custo total da célula.

5.9.5. ORGANIZAÇÃO INTERCELULAR

A proposta desenvolvida para o *layout* ao nível intercelular teve como pré requisito a orientação deste para o lado do forno, lado superior da Figura 131, para que todos os carros no final das células pudessem sair com maior facilidade.

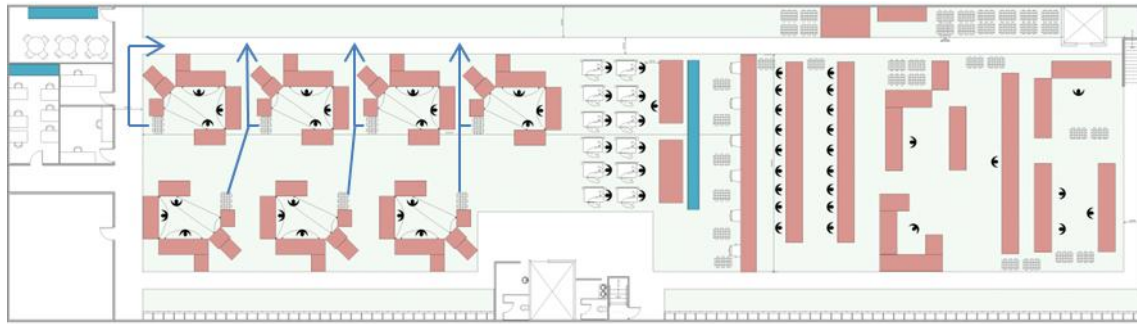


Figura 131 – Layout Intercelular

Uma outra exigência ainda foi a orientação do PT5 e PT6 para o exterior da secção produtiva, para o corredor. Deste modo, este abastecimento, que se denomina de rota pesada, é sempre realizado pelo exterior da secção produtiva, sem os contentores terem de atravessar a secção para chegar a outras células, bastando percorrer o corredor e fazer o abastecimento de célula em célula.



6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Inicia-se agora o capítulo de apresentação e análise dos resultados obtidos com as melhorias implementadas de entre todo o conjunto de propostas desenvolvidas. Deste conjunto foram implementadas quase todas as melhorias, exceto as propostas relativas aos conjuntos das Soldaduras, o mecanismo de lubrificação e a máquina de rebitar, que ainda se encontrava em ultimação.

A produção na célula Delta iniciou no dia 2 de maio de 2012, com uma equipa composta por três jovens operadoras temporárias, no segundo turno. No dia 14 de maio de 2012 iniciou no primeiro turno com uma equipa composta por três operadoras efetivas. No final do mês de maio o segundo turno finalizou contrato, tendo cessado funções, e então o acompanhamento e contabilização da produção continuou somente no primeiro turno, até o dia 11 de julho de 2012.

Com base neste período de acompanhamento da produção, são apresentadas nesta secção as principais medidas de desempenho da célula, bem como os resultados obtidos, e toda a contabilização financeira que envolveu o projeto.

No fecho do capítulo serão indicadas algumas contrariedades e dificuldades à implementação das propostas.

6.1. EVENTO KAIZEN – ACTION WORKOUT

No início da semana na qual o AWO teve lugar, o objetivo traçado para a equipa 4, na qual o autor estava incluído, visava a diminuição da percentagem dos erros do tipo DT1 de 15% para 2% nos disjuntores bipolares.

Com as propostas de melhoria desenvolvidas nesse sentido, na amostra retirada no primeiro dia, a percentagem situava-se nos 20%, um aumento portanto. No segundo dia, após instrução das operadoras, esta percentagem baixou para 8%, e nos restantes dias, com a inclusão do controlo da posição do parafuso no final das células, o valor fixou-se em 0,68%. No final do mês de março, a amostra contabilizada desde o evento até ao fim do mês resultou numa percentagem de 3,23% de rejeições, o que corresponde a 1605 disjuntores rejeitados numa amostra de 49652 disjuntores. O custo de recuperação destes disjuntores foi de 613,46€.

No mês de abril, para uma amostra de 33200 disjuntores bipolares foram contabilizadas 127 rejeições, o que perfaz uma percentagem de 0,38%, e representa um gasto de 48,54€ na recuperação destes, bastante inferior a 1019,76€, valor referente aos 2668 disjuntores rejeitados em Fevereiro com o erro DT1. Na Tabela 16 apresentam-se estes valores de forma resumida.

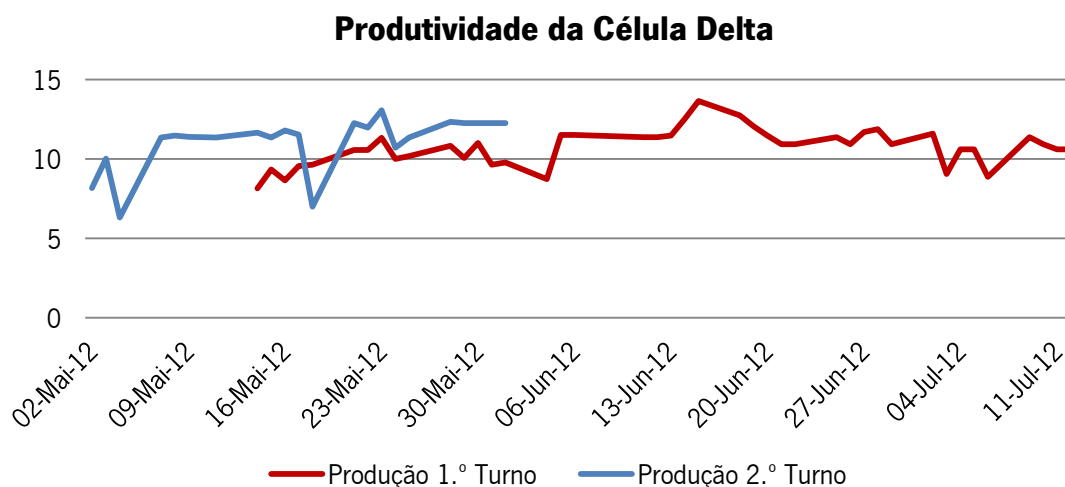
Tabela 16 – Resultados AWO

| AWO | NOK (%) | Fevereiro | Março | Abril |
|------------------|----------------|----------------------|--------------|--------------|
| Início | 15 | Amostra | 49652 | 33200 |
| Objetivo | 2 | NOK (disjuntores) | 2668 | 1605 |
| 1º Dia | 20 | NOK (%) | 3,23 | 0,38 |
| 2º Dia | 8 | | | |
| 3º Dia | 0,68 | | | |
| 4º Dia | 0,68 | | | |
| | | | | |
| Resultado | 0,68 | Reparação (€) | 1019,76 | 613,46 |

Deste modo, considera-se a implementação das melhorias um sucesso dada a baixa de rejeições e o capital poupado em reparações.

6.2. PRODUTIVIDADE

O gráfico da Figura 132 apresenta a variação da produtividade durante o período de análise, onde se realça a estabilidade dos últimos dias do segundo turno no valor de 12,24 disjuntores/hora.homem. Por sua vez, o primeiro turno nunca foi capaz de estabilizar ou mostrar uma tendência, tamanha era a sua variabilidade.

**Figura 132 – Representação gráfica da Produtividade da célula Delta**

Destaca-se ainda que a frequente oscilação dos valores deveu-se muitas das vezes a perturbações ao funcionamento da célula, por motivos de absentismo, greve, feriados e pontes, e por causa de alguns projetos paralelos que foram testados nesta célula, como foi exemplo da máquina de rebites, e as propostas relacionadas com os conjuntos das soldaduras.

6.3. TAXA DE PRODUÇÃO

Em relação à taxa de produção, a partir do gráfico representado na Figura 133, conclui-se que o início em ambos os turnos começou bastante oscilante, tendo apresentado em seguida uma tendência ascendente,

e de acordo com o gráfico da produtividade, apresentou uma estabilização no segundo turno, perto do final de contrato, no valor de 36,73 disjuntores/hora. Ainda assim este valor fica aquém do necessário para satisfazer uma procura diária de 300 disjuntores, que seria 40,8 disjuntores/hora.

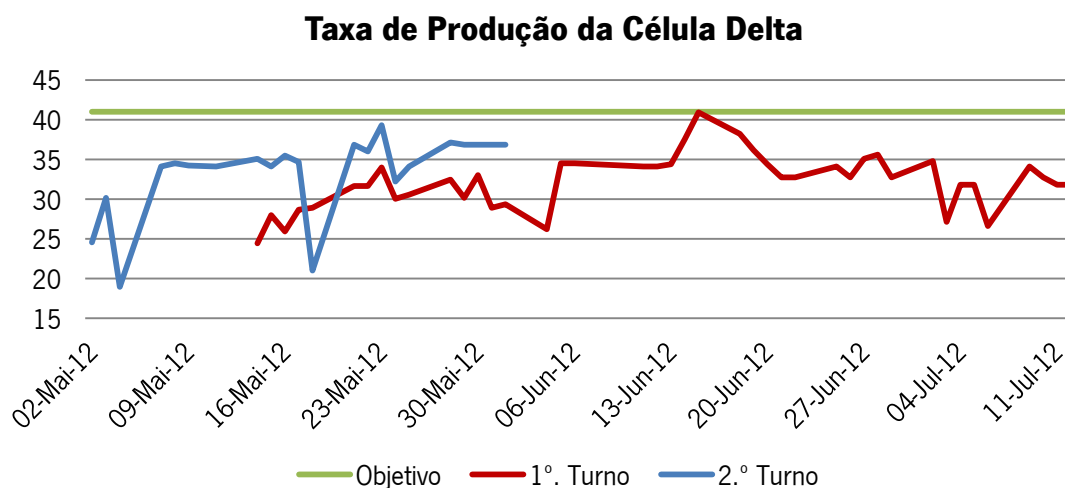


Figura 133 – Representação gráfica da Taxa de Produção da célula Delta

Estas oscilações iniciais devem-se a um período inicial de adaptação ao novo balanceamento, muito contestado inicialmente pelas operadoras, que receavam sair prejudicadas por não atingirem as normas produtivas, mas que depois se manteve e acabou por ser aceite e consentido como mais eficiente.

6.4. TEMPO DE CICLO

O tempo de ciclo obtido para a célula não foi perfeito, uma vez que a operadora 1 continua com um valor superior ao *Takt Time*. Pela análise da Figura 134 confirma-se a afirmação anterior, mas também aqui é possível ver a existência de um desnivelamento que pode representar uma oportunidade de melhoria.

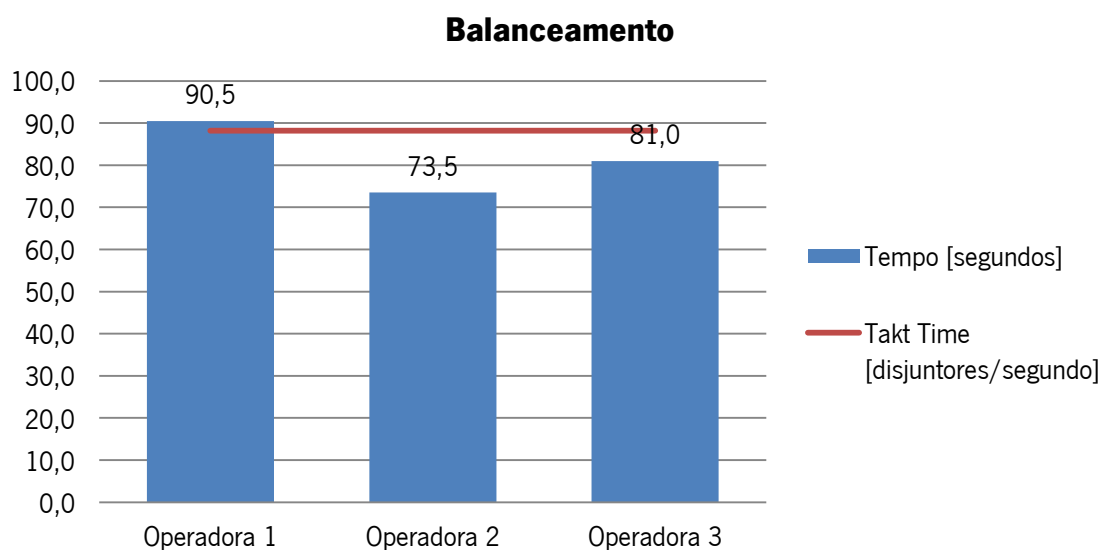


Figura 134 – Equilibragem da Célula

No entanto esta figura não contabiliza a introdução da operação de controlo introduzida no PT3, a qual representa um acréscimo de 10 segundos à operadora 2. Deste modo torna-se difícil fazer a movimentação de operações entre postos que, como já foi referido, se encontra limitada a pequenas operações de apenas um ou dois componentes.

6.5. LEAD TIME

Com base no balanceamento, o VSM do Estado Futuro é atualizado para a Figura 135.

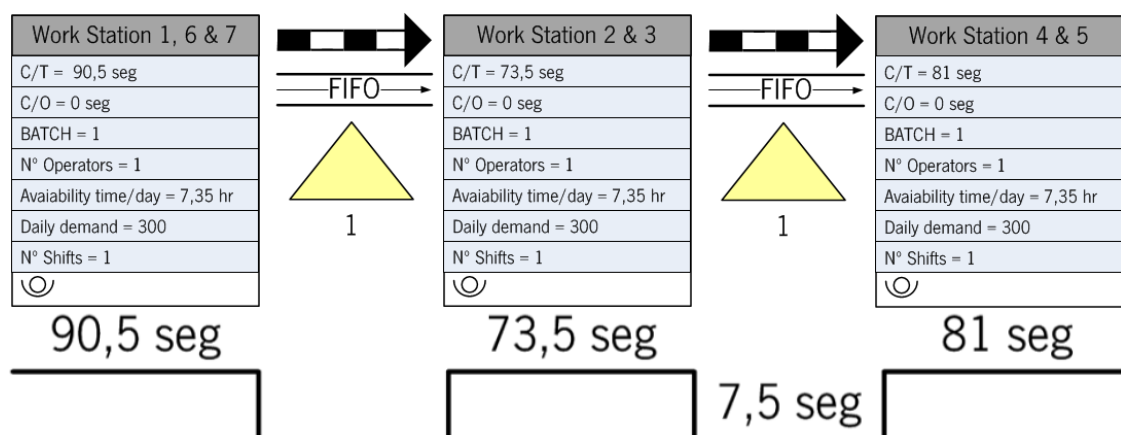


Figura 135 – VSM da nova célula de produção, excerto do VSM do Estado Futuro

Com base nesta figura, verifica-se que o LT será igual a 252,5 segundos, do qual apenas 7,5 segundos é tempo de valor não acrescentado, proveniente do tempo de espera pela operadora 3 para finalizar o disjuntor que tem em mão. Numa situação ideal, este é o cenário expectável no futuro produtivo de cada célula da secção produtiva bipolar.

6.6. WIP

No que concerne ao valor de *Work-In-Process*, a passagem da produção em lotes de 2 disjuntores em cada posto para a produção unitária por posto, numa tentativa de aproximação ao *One-Piece-Flow*, permitiu a passagem de um valor de WIP igual a 8 disjuntores na célula para 3. Este valor foi contabilizado diariamente, no fim do turno de trabalho, contando-se um disjuntor entre postos de trabalho, perfazendo desta forma 3 disjuntores de WIP na célula.

6.7. RESULTADOS FINANCEIROS

Com a implementação do novo modelo de células, baseado na célula Delta, é expectável que a produção diária cresça pelo menos 8%, isto é, um aumento de 20 disjuntores, passando de 250 para 270 disjuntores diários. Numa perspetiva macroeconómica a este cenário, ao final de um ano seriam produzidos mais 35.420 disjuntores do modelo 2P1545S, que resulta num encaixe de 407.330€ ($35.420 \times 11,5\text{€}$).



O investimento necessário para construir as 7 novas células seria de 8.133,65€ em despesas com materiais e 2.150,17€ em mão de obra. De salientar que o valor calculado para o gasto de matérias (Anexo 14) seria o apresentado se as células fossem construídas de raiz, facto que não se verificou, uma vez que, tanto na construção da célula Delta como na célula Épsilon foram aproveitados todos os materiais que estivessem em bom estado para reutilização. Portanto, se for considerada uma percentagem de reutilização de materiais de 10%, o gasto total seria de 7.320,28€.

Na Tabela 17 apresenta-se a contabilização de custos associada à melhoria implementada nas transmissões térmicas. Desta conclui-se que o investimento na implementação da proposta de melhoria é inferior ao valor desperdiçado em transmissões térmicas que se perdem anualmente, resultando num ganho de 55,33€.

Tabela 17 – Contabilização de custos num ano para Transmissões Térmicas

| | | | |
|-----------------------------------------|-----------------|----------------------|----------------|
| Dias Uteis | 252 | Semanas Uteis | 50,4 |
| Reparação | Unidades | | |
| Norma | h/100 und | | 5,9 |
| Peças Reparadas | und/sem | | 200 |
| Labor | €/h | | 8,7 |
| Custo | 517,41 € | | |
| Compras | | | |
| Preço | €/100 und | | 0,2378 |
| Desperdício | und/sem | | 525 |
| Custo | € | | 62,92 € |
| Custo Total | 580,33 | | |
| Contentores Novos para 7 Células | | | |
| Custo | €/und | | 25 |
| Consumo Diário | und/Célula | | 2 |
| Stock Segurança | und | | 7 |
| Custo Total | 525,00 € | | |

No final do projeto, fazendo uma análise macroscópica para um ano, a implementação das novas células e restantes melhorias, proporcionaria um ganho financeiro igual a 309.450,88€ (599.886 – (2.150,17 + 7.320,28) + 55,33).

6.8. SÍNTESE DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO DA NOVA CÉLULA

Na Tabela 18 apresentam-se sintetizadas as medidas de desempenho da célula Delta em comparação com a Célula Beta.

A partir desta tabela, conclui-se que o desempenho das novas células será efetivamente melhor do que as anteriores, destacando em particular a discrepância entre os valores do tempo de percurso, LT, a produtividade e a diminuição do WIP.

Tabela 18 – Comparação das medidas de desempenho

| Medidas de Desempenho | Célula Beta | Célula Delta |
|-----------------------------------------------|-------------|--------------|
| <i>Takt Time</i> (seg/disjuntor) | 100,8 | 88,2 |
| Taxa de Produção (disjuntores/hora) | 34 | 36,7 |
| Produtividade (disjuntores/hora.homem) | 11,3 | 12,2 |
| <i>Lead Time</i> (segundos) | 690,2 | 252,5 |
| WIP (disjuntores) | 7 | 3 |
| <i>Run Time</i> (segundos) | 295,2 | 245 |
| Output Diário (Disjuntores) | 250 | 270 |

Quanto ao tempo de ciclo, o apuramento de um valor fidedigno revelou-se muito moroso, dada a grande variabilidade que se verificava, uma vez que a operadora quando voltava ao PT1 deixava frequentemente um disjuntor em ciclo dentro do teste no PT7, o qual só era passado no scan depois da operadora processar mais um disjuntor no PT6. Deste modo os tempos variavam entre os 180 segundos e os 30 segundos, no primeiro caso se esta voltasse ao PT1, e no segundo caso se processa-se dois disjuntores no PT6 antes de retirar o disjuntor do teste no PT7. Esta situação verifica-se pela diferença de rendimentos entre as operadoras.

6.9. PRINCIPAIS GANHOS COM O NOVO MODELO DE CÉLULAS

Este projeto possibilitou a aproximação do tempo de ciclo ao novo *Takt Time*, na medida em que as melhorias implementadas potenciaram a diminuição de vários tipos de desperdício, e em alguns casos a eliminação deste.

Todas as melhorias implementadas resultaram na nova célula Épsilon, que servirá de modelo para a atualização das restantes células. Deste modo, o VSM da GE para o sistema produtivo dos disjuntores bipolares foi atualizado, tendo como principais alterações a redução do LT de 31.849,6 segundos para 31560 segundos, ou seja, houve uma redução de 289,6 segundos, aproximadamente 5 minutos, o que representa 1% do LT.

6.10. DIFICULDADES NA IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

Durante a realização deste projeto o autor sentiu diversas dificuldades para a implementação de melhorias e ideias, e também para a obtenção de resultados.

Em primeiro lugar, a resistência à mudança por parte das operadoras aliada ao ceticismo pela ideia de conseguir fazer mais, tornou difícil a aceitação da mudança de hábitos produtivos, fazendo com que estas



desistissem muito rapidamente de lutar por resultados e de se adaptarem. No entanto, a gestão humana praticada pelo autor, baseada no bom senso, socialização e humildade para com as operadoras, levou estas a conseguirem atingir taxas de produção idênticas às definidas para a norma de produção para o índice de rendimento produtivo a 140%.

Posto isto, surge aqui um segundo problema, o medo da alteração das normas. Como as operadoras trabalham focadas em atingir a norma que lhes auferia o maior rendimento mensal, o seu ritmo de trabalho diário já estava treinado para essa taxa de produção, não havendo muito esforço nem vontade de ir além, pois estas receavam a atualização dos valores das normas, o que significava maiores taxas para os mesmos índices de rendimento.

Um outro problema, foi o impacto inicial da nova alocação de postos de trabalho por operadora, uma vez que durante o período de adaptação estas não conseguiram atingir logo as taxas de produção que praticavam na célula antiga. Isto levou-as a colocar em causa o projeto e as mais-valias que o autor afirmava que a nova célula trazia.

Apesar de tanta controvérsia, resistência e ceticismo, no fim do projeto as operadoras acabaram por admitir os benefícios e a efetividade das melhorias, mas nunca se arriscaram a produzir muito mais do que precisavam para atingir a norma de 140%.



7. CONCLUSÕES

No capítulo que agora se inicia são apresentadas as considerações finais apontadas ao projeto desenvolvido e ainda indicações de trabalho a desenvolver no futuro

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolveu-se conforme o planeado inicialmente, a análise ao sistema produtivo revelou-se frutífera na identificação de desperdício nas células de produção, tendo este sido eliminado em quase todos os casos mediante a implementação de propostas de melhoria desenvolvidas.

Em relação ao objetivo principal, considera-se que este não foi totalmente atingido. Embora as medidas de desempenho tenham sido melhoradas, a produção de 300 disjuntores por turno por célula, que daria resposta à procura diária de 2100 disjuntores do modelo 2P1545S, não foi atingida, tendo-se ficado pelos 270 disjuntores. Tal sucedimento justifica-se pela falta de motivação de algumas operadoras, uma vez que, olhando para a atual conjuntura económica nacional, não se sentem motivadas pela hipótese de produzirem mais com menor esforço, sem que isso signifique alguma mais-valia económica, apesar de a previsão do autor, mediante as melhorias implementadas, apontava ao completo sucesso deste projeto.

Apesar disso, o balanço final para as melhorias implementadas demonstrou a existência de ganhos significativos tanto a nível financeiro como das condições de trabalho. No total, a implementação do novo modelo de células, o resultado que reúne todas as melhorias implementadas, proporcionaria ganhos anuais na ordem dos 309.450,88€, aos quais já foi contabilizado o investimento de 9.470,45€.

No final do projeto, a célula Delta apresentava uma taxa de produção de 36,7 disjuntores/hora face a 34 disjuntores/hora no início do projeto, que se traduz numa produtividade de 12,2 disjuntores/hora.homem contra o valor inicial de 11,3 disjuntores/hora.homem, comprovando a melhoria do processo produtivo. Além destas medidas de desempenho, foram registadas melhorias a nível ergonómico, na medida em que as operadoras fazem menos e mais leves esforços físicos, fruto das melhorias introduzidas.

Ao longo deste projeto, o autor viu-se confrontado com diversas dificuldades no desenvolvimento e implementação das melhorias, os quais acabaram por ser ultrapassados com o apoio das chefias e com o esclarecimento das operadoras para os benefícios que estas propostas traziam.

No que à qualidade dos disjuntores diz respeito, são assinaláveis os ganhos relativos à diminuição da percentagem de rejeições pelo erro do tipo DT1. Este passou de uma percentagem de 15% para 0,36%, ou seja, foram rejeitados apenas 127 disjuntores face aos 2668 registados antes das melhorias, traduzindo-se numa variação de valor gasto em reparação de 1019,76€ para 48,54€.

Apesar de algumas propostas não terem sido implementadas, a filosofia *Kaizen* faz parte do *modus operandi* da GE, e como tal a melhoria continua praticada diariamente, um dia irá viabilizar a implementação das propostas que não foram avante neste projeto.

A realização deste projeto proporcionou ao autor uma experiência humana muito rica, na medida em que considera ter desenvolvido competências ao nível da gestão de pessoas mediante as diversas personalidades, medos e resistências com que se deparou, tendo crescido como pessoa e ser humano. Esta experiência também possibilitou o vislumbre da experiência mais madura dos colaboradores da GE, que lhe permitiram ver o entrosamento das técnicas do *Lean Manufacturing* e o seu uso.

A realização deste projeto proporcionou também ao autor o seguinte pensamento: “Não podemos estar sempre à espera da solução perfeita para implementar uma melhoria. O caminho do sucesso passa por pequenas melhorias graduais que dão sentido à melhoria continua. Após a implementação de uma nova proposta de melhoria rapidamente se identificam, no imediato, fraquezas, defeitos e outras soluções ou alternativas para aspetos que podiam estar melhores. Nenhum sistema ou processo é nem será perfeito dada a constante alteração, instabilidade e imprevisibilidade do cliente e dos seus requisitos. O objetivo passa portanto por conseguir ser-se o mais rápido a implementar soluções eficazes sendo eficiente neste processo.”

7.2. TRABALHO FUTURO

Uma vez que o projeto desenvolvido não atingiu o sucesso completo do objetivo principal, existe ainda espaço para eventos de melhoria continua nesse sentido. Portanto, o autor deseja que as melhorias por ele implementadas sejam respeitadas e alvo de melhoria.

O autor propõe um acerto do balanceamento em conjunto com uma revisão às normas produtivas de forma a potenciar a motivação das operadoras, levando-as assim a atingir a produtividade de 13,6 disjuntores/hora.homem, o valor que permitiria o cumprimento do objetivo principal.

O autor destaca ainda a secção produtiva das soldaduras como alvo de um futuro evento de melhoria continua, dado o impacto das suas quebras de produção nas secções produtivas bipolares e tetrapolares.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelmola, A. I., Taboun, S. M., & Merchawi, S. (1998). Productivity optimization of cellular manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*, 403-406.
- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 223-236.
- Alves, A. C. (2007). *Projecto Dinâmico de Sistemas de Produção Orientados ao Produto*. Azurém: Universidade do Minho.
- Black, J. T., & Hunter, S. L. (2003). *Lean Manufacturing Systems and Cell Design*. Michigan: Society of Manufacturing Engineers.
- Burbidge, J. L. (1996). The first step in planning group technology. *International Journal of Production Economics*, 261-266.
- Coimbra, E. A. (Agosto de 2008). Os sete Princípios Kaizen. *Suplemento do Jornal Vida Económica*, 2, I-II.
- Coimbra, E. A. (2009). *Total Flow Management: Achieving Excellence with Kazien and Lean Supply Chains*. Kaizen Institute.
- Doolen, T. L., & Hacker, M. E. (2005). A review of lean assessment in organizations: An exploratory study of lean practices by electronic manufacturers. *Journal of Manufacturing Systems*, 24(1), 55-67.
- ElInforma. (2012). *Relatório Oferta: GE POWER CONTROLS PORTUGAL - UNIPessoal, LDA*.
- General Electric Company. (2012). *Lean*. Obtido em Julho de 2012, de General Electric Company Intranet: <http://lean.ge.com/preview/lean/index.html>
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 420-437.
- Hyer, N., & Wemmerlov, U. (2002). *Reorganizing the Factory: Competing Through Cellular Manufacturing*. Portland: Productivity Press.
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy, Second Edition*. New York: McGraw-Hill Professional.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles From The World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.
- Ljungberg, Ö. (1998). Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(5), pp. 495 - 507.

- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 662-673.
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*. New York: Taylor & Francis Group.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland: Productivity, Inc.
- Panizzolo, R. (1998). Applying the lessons learned from 27 lean manufacturers. The relevance of relationships management. *International Journal of Production Economics*, 223-240.
- Rajamani, D., & Singh, N. (1996). *Design of cellular manufacturing system*. Internacional Journal of Production Research.
- Red Lion Controls. (2011). *Visual Management: Increase your company's profitability through insight*. Obtido em 25 de Setembro de 2012, de Red Lion: Insight Enabled: <http://www.redlion.net/Support/VirtualHelpDesk/WhitePapers/PTVWhitePaper.pdf>
- Rother, M., & Shook, J. (2008). *Learning to see: value stream mapping to add balue and eliminate muda*. Cambridge: Lean Enterprise Institute.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students* . Harlow: Pearson Education.
- Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: the SMED system*. Cambridge: Productivity Press.
- Shingo, S. (1988). *Non-stock production: the Shingo system for continous improvement*. Portland: Productivity Press.
- Shingo, S. (1989). *Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system*. Portland: Productivity Press.
- Sullivan, W. G., McDonald, T. N., & Aken, E. M. (2002). Equipment replacement decisions and lean manufacturing. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 255-265.
- Synerflex Consulting International . (17 de Novembro de 2009). *Kanban Card*. Obtido em 10 de Janeiro de 2013, de Synerflex Consulting: <http://synerflexconsulting.com/lean/examples-of-kanban-card>
- Werma UK Ltd. (1 de Janeiro de 2012). *Andon Light Wireless Monitoring*. Obtido em 10 de Janeiro de 2013, de Irish Manufacturing: <http://www.connectingindustry.com/IrishManufacturing/andon-light-wireless-monitoring.aspx>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Revised and Update*. New York: Free Pass.



Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed The World*. New York: Scribner.



ANEXOS

Anexo 1 – CRONOLOGIA DO *LEAN MANUFACTURING*

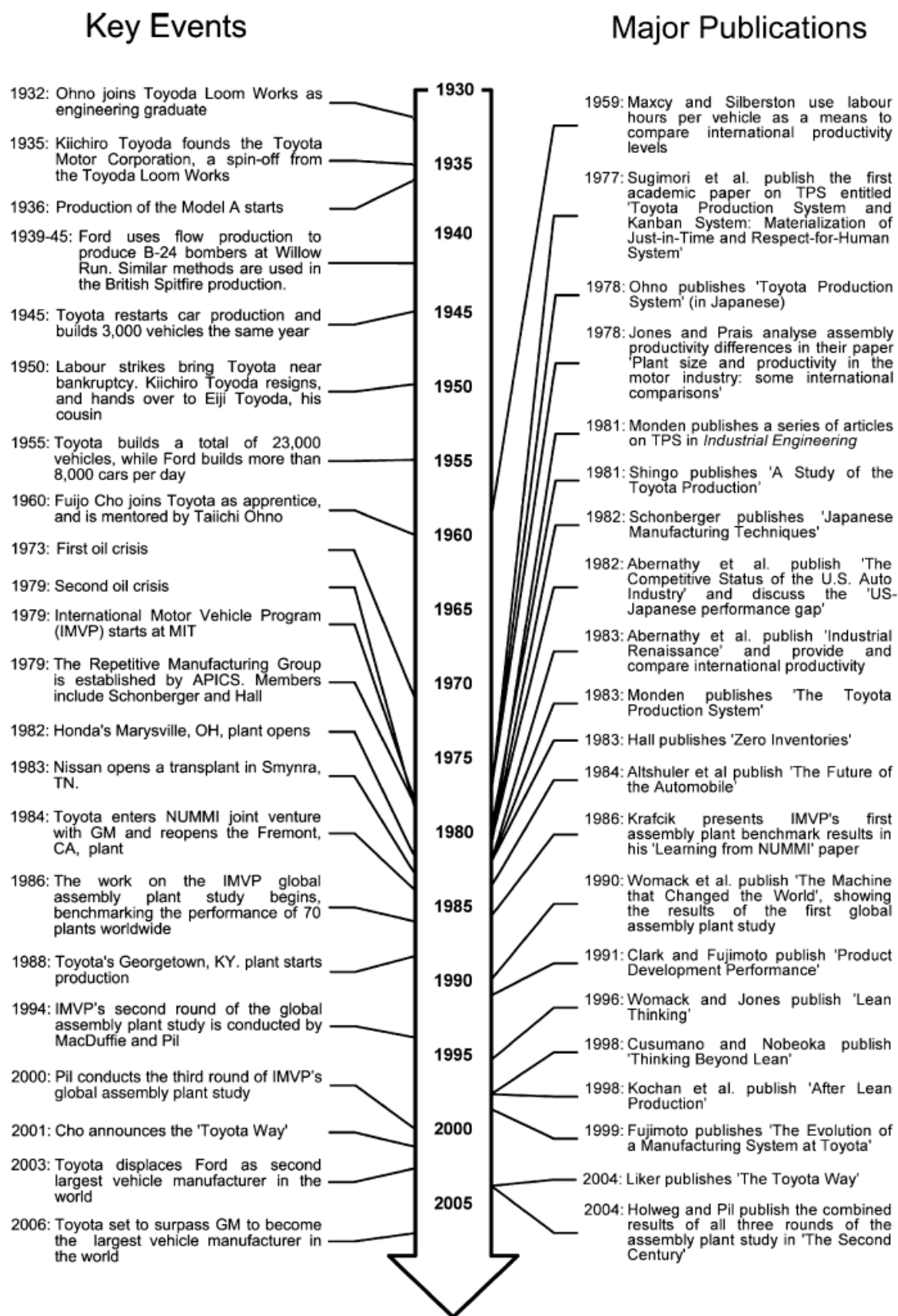


Figura 136 – Cronologia do *Lean Manufacturing*, adaptado de (Holweg, 2007)



Anexo 2 – Os SETE TIPOS DE DESPERDÍCIO

| Type of waste | Description | Within the process industry | Example symptom |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Over production | <ul style="list-style-type: none"> Product made for no specific customer Development of a product, a process or a manufacturing facility for no additional value | <ul style="list-style-type: none"> Large campaign—large batch and continuous large-scale manufacturing processes Development of alternative process routes which are not used or the development of processes which do not support the bottleneck Redesign of parts of the manufacturing facility which are 'standard', e.g., reactors | <ul style="list-style-type: none"> The extent of warehouse space needed and used Development and production organization imbalance An ever changing process (tweaked) Large engineering costs/time associated with facility modifications |
| 2. Waiting | <ul style="list-style-type: none"> As people, equipment or product waits to be processed it is not adding any value to the customer | <ul style="list-style-type: none"> Storage tanks acting as product buffers in the manufacturing process—waiting to be processed by the next step Intermediate product which cannot leave site until lab tests and paperwork are complete | <ul style="list-style-type: none"> The large amount of 'work in progress' held up in the manufacturing process—often seen on the balance sheet and as 'piles of inventory' around the site |
| 3. Transport | <ul style="list-style-type: none"> Moving the product to several locations Whilst the product is in motion it is not being processed and therefore not adding value to the customer | <ul style="list-style-type: none"> Raw materials are made in several locations and transported to one site where a bulk intermediate is made. This is then transported to another site for final product processing Packaging for customer use may be at a separate site | <ul style="list-style-type: none"> Movement of pallets of intermediate product around a site or between sites Large warehousing and continual movement of intermediate material on and off site rather than final product |
| 4. Inventory | <ul style="list-style-type: none"> Storage of products, intermediates, raw materials, and so on, all costs money | <ul style="list-style-type: none"> Economically large batches of raw material are purchased for large campaigns and sit in the warehouse for extended periods Queued batches of intermediate material may require specific warehousing or segregation especially if the lab analysis is yet to be completed or confirmed | <ul style="list-style-type: none"> Large buffer stocks within a manufacturing facility and also large warehousing on the site; financially seen as a huge use of working capital |
| 5. Over processing | <ul style="list-style-type: none"> When a particular process step does not add value to the product | <ul style="list-style-type: none"> A cautious approach to the design of unit operations can extend processing times and can include steps, such as hold or testing, which add no value The duplication of any steps related to the supply chain process, e.g., sampling, checking | <ul style="list-style-type: none"> The reaction stage is typically complete within minutes yet we continue to process for hours or days We have in process controls which never show a failure The delay of documents to accompany finished product |
| 6. Motion | <ul style="list-style-type: none"> The excessive movement of the people who operate the manufacturing facility is wasteful. Whilst they are in motion they cannot support the processing of the product Excessive movement of data, decisions and information | <ul style="list-style-type: none"> People transporting samples or documentation People required to move work in progress to and from the warehouse People required to meet with other people to confirm key decisions in the supply chain process People entering key data into MRP systems | <ul style="list-style-type: none"> Large teams of operators moving to and from the manufacturing unit but less activity actually within the unit Data entry being seen as a problem within MRP systems |
| 7. Defects | <ul style="list-style-type: none"> Errors during the process—either requiring re-work or additional work | <ul style="list-style-type: none"> Material out of specification; batch documentation incomplete Data and data entry errors General miscommunication | <ul style="list-style-type: none"> Missed or late orders Excessive overtime Increased operating costs |

Figura 137 – The Seven Types of Waste (Melton, 2005)

Anexo 3 – KIT SIMPLS DE FERRAMENTAS LEAN

| Tool | Description | Typical Use |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Force field diagramming | <ul style="list-style-type: none"> A tool which allows analysis of the forces supporting or resisting a particular change | <ul style="list-style-type: none"> When looking at a potential design When looking at the implementation planning for a change following design |
| IPO diagramming | <ul style="list-style-type: none"> A basic flowchart tool mapping inputs, processes and outputs. Based on the required outputs, the appropriate process can be defined and the required inputs specified | <ul style="list-style-type: none"> To design a team session at any stage of the implementation of lean, e.g., data collection day, kaizen day (implement a change in one day), implementation planning |
| Process flow mapping | <ul style="list-style-type: none"> A map showing each process step in the value stream | <ul style="list-style-type: none"> A data collection activity Also used to analyze the VA (value-add) and NVA (non value-add) steps and as a tool for redesign |
| Time-value mapping | <ul style="list-style-type: none"> A map of the time taken for each process step in the value stream | <ul style="list-style-type: none"> A data collection activity Also used to analyze the VA and NVA steps and as a tool for redesign |
| Spaghetti diagramming | <ul style="list-style-type: none"> A map of the physical path taken by a product as it passes down the value stream | <ul style="list-style-type: none"> A data collection activity |
| Five whys | <ul style="list-style-type: none"> Taiichi Ohno (Womack <i>et al.</i>, 1990) had a practice of asking why five times whenever a problem was found. In this way the root cause was solved rather than the symptom. | <ul style="list-style-type: none"> As a part of the data analysis so that the root cause problem can be solved in the design phase |
| Five S's | <ul style="list-style-type: none"> Five activities used to create a workplace suited for visual control and lean practices: Seiri—separate required from unnecessary tools and remove the latter Seiton—arrange tools for ease of use Seiso—clean-up Seiketsu—do the above regularly—maintain the system you've set up Shitsuke—get into the habit of following the first four S's | <ul style="list-style-type: none"> Can be used at the start of a lean induction to break down barriers and get a team to own their workspace Often used during Kaizens as workplace layout and tidiness is often an issue which causes waste (unable to find the right equipment, use what's there, lose key paperwork, and so on) |
| Risk assessment | <ul style="list-style-type: none"> A structured assessment of what could stop the achievement of specific objectives and how this can be mitigated | <ul style="list-style-type: none"> Assessment of a design prior to implementation as a final challenge of the design Assessment of the issues post-implementation—looking specifically at what would stop the sustainability of the change |
| Kaizen | <ul style="list-style-type: none"> An improvement activity to create more value and remove waste. Commonly called a breakthrough kaizen | <ul style="list-style-type: none"> Kaizen workshops are a common method to kick-off the start of a large step change within an area or value stream Kaizens would actually start with data collection and continue to do some data analysis, design and even implementation |
| Kanban | <ul style="list-style-type: none"> Japanese for 'signboard'. This is a 'visual' shop floor pull system which means that each supplying work centre does not make anything until the next work centre requests supply | <ul style="list-style-type: none"> This is a design solution to materials flow problems within a process (examples within both manufacturing and lab situations have been seen) |

Figura 138 – A Sample "Lean" Toolkit (Melton, 2005)



Anexo 4 – VANTAGENS DAS CÉLULAS

Tabela 19 – Vantagens das Células, adaptado de (Burbidge, 1996)

| N.º | Vantagens | Características das células que trazem vantagens | | | | |
|-----|------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|---------------------|----------------|--------------------|
| | | Produz todo o artigo | Máquinas mais próximas | Divisão em famílias | Um responsável | Trabalho de equipa |
| 1 | Baixo tempo de produção | X | X | X | X | X |
| | Baixo stock | X | X | X | X | X |
| | Baixo custo de stock | X | X | X | X | X |
| 2 | Melhor qualidade | X | X | | | X |
| 3 | Menor custo de movimentação de materiais | X | X | | X | |
| 4 | Melhor prestação de contas | X | X | X | X | |
| 5 | Menor trabalho indirecto | X | | X | | X |
| 6 | Menor tempo de <i>setup</i> | X | | | X | X |
| 7 | Aumento da capacidade | X | | X | X | |
| 8 | Autonomia simplificada | x | X | | | |
| 9 | Mais fácil promoção na empresa | X | | x | | X |
| 10 | Menor obsolescência do material | X | | | | X |
| 11 | Satisfação no trabalho | X | | | | X |

Anexo 5 – ORGANIGRAMA DA EMPRESA

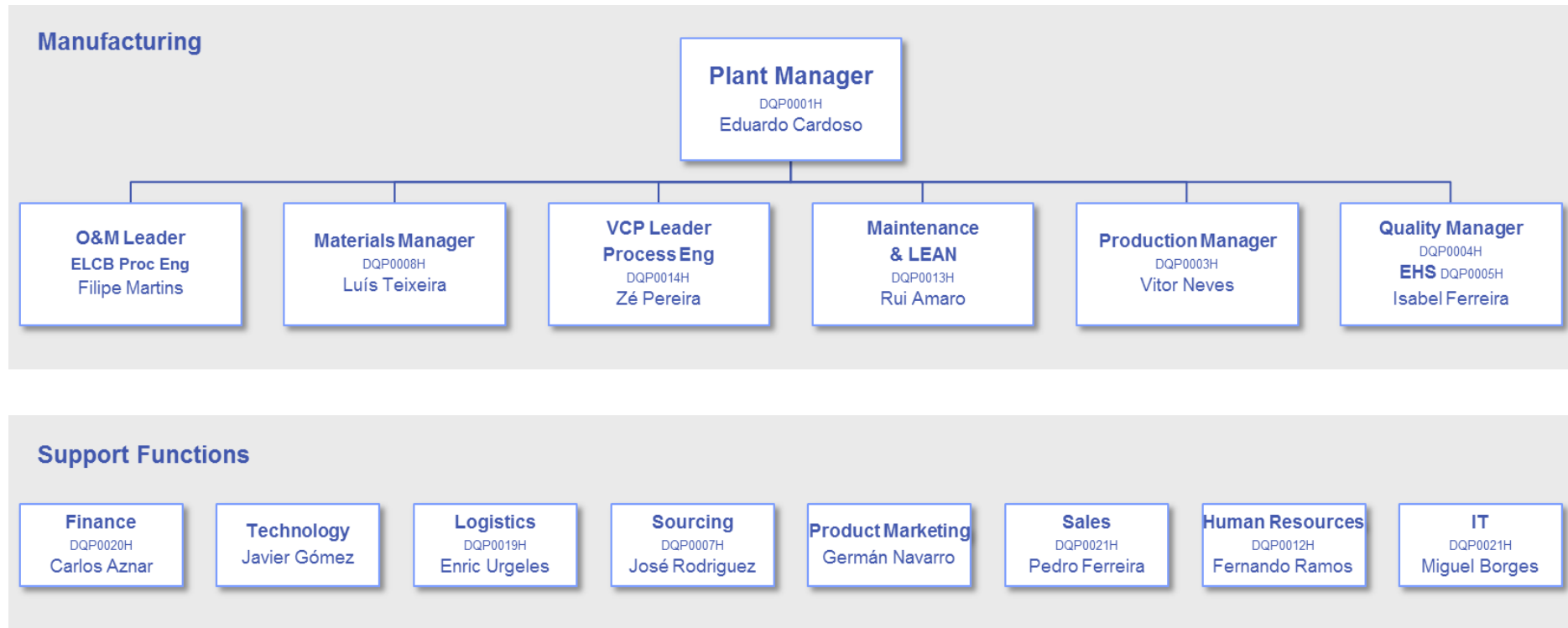


Figura 139 – Organigrama da Empresa



Anexo 6 – MATRIZ DE COMPETÊNCIAS

Tabela 20 – Matriz de Competências ILUO

| Célula | Estação de Trabalho | | Estação 1 | | Estação 2 | | Estação 3 | | Estação 4 | | Estação 5 | | Estação 6 | | Teste | | 1 x 2 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-------|----|-------|
| | N° | Nome | ILUO | /Δ | ILUO | /Δ | ILUO | /Δ | ILUO | /Δ | ILUO | /Δ | ILUO | /Δ | ILUO | /Δ | |
| Alfa | 6203 | Mª Jose Queiroz | O | / | O | / | O | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | O |
| | 6383 | Marlene Cardoso | U | Δ | U | Δ | O | / | U | Δ | U | Δ | O | / | O | / | O |
| | 6400 | Tânia Pedrosa | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | / | O | / | O | Δ | O | Δ | O |
| Beta | | Vitória | O | / | O | / | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O |
| | | Rosa | U | Δ | O | Δ | O | / | O | Δ | O | Δ | O | / | O | / | O |
| | | Marisol Soares | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | / | O | / | O | Δ | O | Δ | O |
| Eta | Temp | Ana Poeira | U | / | U | Δ | L | Δ | I | Δ | I | Δ | U | / | U | / | O |
| | 6354 | Berta Alexandra | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | / | O | / | O | Δ | O | Δ | O |
| | 6154 | Berta Costa | U | Δ | U | Δ | U | / | U | Δ | U | Δ | U | / | U | / | O |
| | Temp | Diana Gonçalves | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | / | O | / | O | Δ | O | Δ | O |
| | 6401 | Elsa Almeida | U | / | U | / | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | O |
| | Temp | Vanessa Poeira | I | Δ | U | / | U | / | I | Δ | I | Δ | U | Δ | U | Δ | O |
| Epsilon | 6311 | Alexandra Sousa | L | Δ | L | Δ | O | / | O | Δ | O | Δ | O | / | O | / | O |
| | Temp | Fátima Leal | U | / | U | / | L | Δ | L | Δ | L | Δ | L | Δ | L | Δ | X |
| | 6110 | Fátima Machado | O | / | O | / | L | Δ | L | Δ | U | Δ | U | Δ | O | Δ | O |
| | Temp | Liliana Cerqueira | L | Δ | L | Δ | U | / | L | Δ | L | Δ | U | / | U | / | X |
| | Temp | Sandra Silva | U | / | L | / | U | Δ | U | Δ | I | | U | Δ | U | Δ | O |
| | 6122 | Teresa Rocha | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | / | O | / | O | Δ | L | Δ | O |
| Gama | 6174 | Ana Paula Cruz | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | O |
| | 6266 | Paula Teixeira | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | U | Δ | O |
| | Temp | Susana Ferreira | L | Δ | L | Δ | L | Δ | U | / | U | / | L | Δ | L | Δ | X |
| Zeta | 6281 | Anabela Almeida | O | / | O | / | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O | Δ | O |
| | 6240 | Marília Almeida | | | L | Δ | U | / | L | Δ | | | U | / | U | / | X |
| | 6208 | Teresa Paula | L | Δ | U | Δ | U | Δ | U | / | U | / | L | Δ | L | Δ | X |
| 2 x 1 | | | X | | X | | X | | X | | X | | X | | X | | |
| Legenda: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1x2 : Operador com nível L em duas operações | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2x1 : Operação com dois operadores com nível L | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I : Operador pode realizar a operação com supervisão constante | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L : Operador realiza a operação no tempo standard, conhece os principais defeitos e como os detetar, equivocar-se e também respeita a sequência das operações sem equivocar-se | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U : Melhora o tempo standard, conhece os defeitos e sabe como os corrigir, conhece o funcionamento da parte do produto terminada | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O : Tem os conhecimentos necessários para ensinar outra pessoa. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X : Não cumpre com 1x2 ou 2x1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O : Cumpre com 1x2 ou 2x1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| / : Operação que realiza atualmente | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Δ : Operação está abilitada a fazer | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Anexo 7 – LISTA DE DEFEITOS

Tabela 21 – Lista de Defeitos

| Código | Descrição |
|---------------|---------------------------------------------------------|
| DG 01 | Torcimento Trança Incorreto |
| DG 02 | Fios Soltos |
| DG 03 | Fios Partidos |
| DG 04 | Solda Incorreta |
| DG 05 | Perpendicularidade Parafuso Incorreta |
| DG 06 | Cabeça Parafuso Danificada |
| DG 07 | Rosca Parafuso Danificada |
| DG 08 | Fenda Parafuso Danificada |
| DG 09 | Parafuso Completa/ Apertado |
| DG 10 | Borne Mal Montado |
| DG 11 | Eixo Mal Montado |
| DG 12 | Falta de material |
| DG 13 | Decapação incorreta dos fios / tranças |
| DG 14 | Eixo Trocado |
| DG 15 | Medida incorreta |
| DG 17 | Fios Danificados |
| DG 18 | Cor Primários Incorreta |
| DG 19 | Especificação Fios Incorreta |
| DG 20 | Posicionamento Bobine Magnética Incorreta |
| DG 21 | Bobine Magnético Trocada |
| DG 22 | Medida entre Compactações Incorreta |
| DG 23 | Etiqueta com Rugas |
| DG 24 | Soldadura Incorretamente Posicionada |
| DG 25 | Rosca Borne Danificada |
| DG 26 | Fio Secundário Danificado / Partido / mal posicionado |
| DG 27 | Nº espiras Incorreto (Fio Secundário) |
| DG 28 | Ausência de Fita Proteção |
| DG 29 | Medida Incorreta Fio Secundário |
| DG 30 | Cravação Incorreta Ilhó |
| DG 31 | Bimetal Compensação Incorreto |
| DG 32 | Tampa Central Danificada |
| DG 33 | Conformação Incorreta |
| DG 34 | Posicionamento Bimetal Comp. Incorreto |
| DG 35 | Posicionamento e afastamento dos fios na Placa Seletiva |
| DG 36 | Posição inc. da calibração |
| DG 37 | Etiqueta testes incompleta |
| DG 38 | Referência inc. da etiqueta |
| DG 39 | Má limpeza do aparelho |
| DG 40 | Ausência tampas, visores e lacre |
| DG 41 | Etiqueta inc. caixa contentor |
| DG 42 | Componentes Incorretamente Montados |
| DG 43 | Troca de Relé |



| | |
|--------------|------------------------------------------------------|
| DG 44 | Ausência de Componentes |
| DG 45 | Pino Relé Defeituoso |
| DG 46 | Componentes partidos / rachados |
| DG 47 | Posicionamento inc. dos fios do Núcleo |
| DG 48 | Ausência da Película isolante |
| DG 49 | Solda Inc. Fio Resistência ao Térmico-Neutro |
| DG 50 | Solda Inc. Fio Resistência à Fase |
| DG 51 | Ausência e mau funcionamento da Roda de Calibração |
| DG 52 | Caixas danificadas |
| DG 53 | Amperagem incorreta |
| DG 54 | Posição inc. Porca Shunt |
| DG 55 | Inclinação inc. dos condutores |
| DG 56 | Deformação Peça Metálica |
| DG 57 | Bimetal Deformado |
| DG 58 | Perfuração da base |
| DG 59 | Força inc. disparo diferencial |
| DG 60 | Trança do bimetal inc posicionada |
| DG 61 | Trança c. móvel inc posicionada |
| DG 62 | Pista arco incorretamente pressionada |
| DG 63 | Afastamento inc. dos condutores na zona de soldadura |
| DG 64 | Funcionamento do botão teste incorreto |
| DG 65 | Posição incorreta fios secundário |
| DG 66 | Posição incorreta roda de calibração |
| DG 67 | Ausência tubo magnético |
| DG 68 | Ausência placa isolante |
| DG 69 | Alinhamento inc. dos primários |
| DG 70 | Sujidade no interior |
| DG 71 | Corte incorreto |
| DG 72 | Bases (módulos) rachadas |
| DG 73 | Etiqueta incorretamente posicionada |
| DG 74 | Fecho incorreto da tampa central |
| DG 75 | Componentes Riscados |
| DG 76 | Etiqueta Sequencial |
| DG 77 | Tampo grafia (risco azul) NOK |
| DG 78 | Embalagem |
| DG 79 | Ensaio Binário |
| DG 80 | Quedas Tensão |
| DG 81 | Temperaturas |
| DG 82 | Poder de Corte |
| DG 83 | Manobras |
| DG 84 | Rigidez Dielétrica |
| DG 85 | Trepidações |
| DG 86 | Solicitação Térmica |
| DG 87 | Material Solto |
| DG 88 | Manipulo não Recupera |
| DG 89 | Ausência de Selagem |

| | |
|---------------|----------------------------------------------------------|
| DG 90 | Montagem Mola Incorreta |
| DG 91 | Componente Defeituoso |
| DG 92 | Pino base partido |
| DG 93 | Aperto incompleto |
| DG 94 | Regulação parafuso térmico |
| DG 95 | Ausência de lubrificação |
| DG 96 | Borne mal posicionado na base central |
| DG 97 | Manipulo não arma |
| DG 98 | Porca / parafuso shunt danificados |
| DG 99 | Base Central Danificada |
| DG 100 | Troca de condutores |
| DG 101 | Inclinação incorreta dos condutores |
| DG 102 | Suporte do bimetálico danificado após cravação |
| DG 103 | Posição incorreta do transformador |
| DG 104 | Posicionamento incorreto dos condutores |
| DG 105 | Excesso de solda |
| DG 106 | Bimetálico trocado |
| DG 107 | Bimetálico soldado na face contrária |
| DG 108 | União de bimetálicos solta |
| DG 109 | Troca de núcleos |
| DG 110 | Trança esmagada |
| DG 111 | Não dispara no teste continuidade |
| DG 112 | Botão teste danificado / partido / queimado |
| DG 113 | Bobina magnética não soldada |
| DG 114 | Folga fora especificações |
| DG 115 | Força disparo incorreta bimetálico |
| DG 116 | Força disparo incorreto nos polos |
| DG 117 | Bobina magnética oxidada |
| DG 118 | Paralelismo incorreto |
| DG 119 | Contacto fixo sujo ou com gordura |
| DG 120 | Falha de continuidade na fase |
| DG 121 | Falha de continuidade no neutro |
| DG 122 | Térmico queimado |
| DG 123 | Força da bobina magnética incorreta |
| DG 124 | Empeno |
| DG 125 | Trança com parede |
| DG 126 | Compactação aberta |
| DG 127 | Trança mal compactada |
| DG 128 | Excesso de calor na soldadura |
| DG 129 | Marcas de eléctrodos |
| DG 130 | Excesso de fita de solda |
| DG 131 | Contacto móvel trocado |
| DG 132 | Contaminação da base |
| DG 133 | Descarnamento NOK |
| DG 134 | Modulo Interno partido (Zona Parafuso) |
| DG 135 | Ilegibilidade/ Inexistência marcações/ gravações a laser |



| | |
|---------------|-----------------------------------------------------|
| DG 136 | Não resistência das gravações |
| DG 137 | Tampo grafia / Gravação mal posicionada no aparelho |
| DG 138 | Isolamento danificado |
| DG 139 | Resíduos Solda no Interior |
| DG 140 | Posição incorreta do parafuso na pista de arco |
| DG 141 | Excesso de lubrificante |
| DG 142 | Ausência de folha de instruções na caixa individual |
| DG 143 | Dobragem Incorreta da Manga Isoladora |
| DG 144 | Borne queimado |
| DG 145 | Rebarbas |
| DG 146 | Distância entre contactos NOK |
| DG 147 | Ausência de lacre |
| DG 148 | Click da tampa shunt mal efetuado |
| DG 149 | Parâmetros do leitor de código de barras incorreto |
| DG 150 | Deslocamento incorreto |
| DG 151 | Numeração sequencial NOK |
| DG 152 | Má cravação |
| DG 153 | Peça oxidada |
| DG 154 | Componente incorreto |
| DG 155 | Excesso / ausência de silicone |
| DG 156 | Excesso / ausência de estanho |
| DG 157 | Ensaio de impedância NOK |
| DG 158 | Ensaio de indutância NOK |
| DG 159 | Teste elétrico NOK |
| DAT 01 | Disrupção entre polos |
| DAT 02 | Disrupção entre terminais e tampa |
| DAT 03 | Disrupção entre entrada e saída |
| DMD 1 | Falha Mecânica |
| DMD 2 | Fase L1 Aberta |
| DMD 3 | Fase L2 Aberta |
| DMD 4 | Fase L3 Aberta |
| DMD 5 | Neutro Aberto |
| DMD 6 | Falha do Secundário |
| DMD 7 | Falta Continuidade |
| DMD 8 | Neutro não Entra 1° (4P) |
| DMD 13 | Não Calibrável |
| DMD 14 | Falha do Magnético |
| DMD 15 | Falha do BT |
| DMD 16 | Falha Tempo de Disparo (L1) R |
| DMD 17 | Falha Tempo de Disparo (L2) S |
| DMD 18 | Falha Tempo de Disparo (L3) T |
| DMD 19 | Falha Tempo de Disparo Neutro |
| DMD 20 | Falha 250 mA / 500 mA |
| DMD 21 | Variabilidade NOK |
| DMD 22 | Não Ajustável ao + / - |
| DMD 23 | Não Ajustável a 135 + / - |

| | |
|----------------|-----------------------------------------|
| DMD 24 | Variabilidade NOK |
| DMD 25 | Valor da Resistência BT NOK |
| DMD 30 | Ciclo de Teste Interrompido |
| DMD 31 | Diferencial V. Inicial |
| DMD 32 | Diferencial a - 5°C |
| DMD 33 | Diferencial a + 40°C |
| DMD 34 | Diferencial Durante e Após Manobras |
| DMD 35 | Diferencial Após P. Corte |
| DMD 36 | Diferencial Após 8h a Quente |
| DMD 37 | Diferencial Após 8h a Frio |
| DMD 38 | Diferencial Após 8h a Solicitação |
| DMD 39 | Valor corrente inferior ao especificado |
| DMD 40 | Valor corrente superior ao especificado |
| DT 1 L1 | Rápido L1 2 x IN |
| DT 1 L2 | Rápido L2 2 x IN |
| DT 1 L3 | Rápido L3 2 x IN |
| DT 2 L1 | Lento L1 2 x IN |
| DT 2 L2 | Lento L2 2 x IN |
| DT 2 L3 | Lento L3 2 x IN |
| DT 3 L1 | Rápido L1 1.4 IN / 1.54 IN |
| DT 3 L2 | Rápido L2 1.4 IN / 1.54 IN |
| DT 3 L3 | Rápido L3 1.4 IN / 1.54 IN |
| DT 4 L1 | Lento L1 1.4 IN / 1.54 IN |
| DT 4 L2 | Lento L2 1.4 IN / 1.54 IN |
| DT 4 L3 | Lento L3 1.4 IN / 1.54 IN |
| DT 5 L1 | Rápido L1 1.4/ 1.54 IR |
| DT 5 L2 | Rápido L2 1.4/ 1.54 IR |
| DT 5 L3 | Rápido L3 1.4/ 1.54 IR |
| DT 6 L1 | Lento L1 1.4/ 1.54 IR |
| DT 6 L2 | Lento L2 1.4/ 1.54 IR |
| DT 6 L3 | Lento L3 1.4/ 1.54 IR |
| DT 1 | Rápido 2 x IN |
| DT 2 | Lento 2 x IN |
| DT 3 | Rápido 1.4 IN / 1.54 IN |
| DT 4 | Lento 1.4 IN / 1.54 IN |
| DT 5 | Rápido 1.4/ 1.54 IR |
| DT 6 | Lento 1.4/ 1.54 IR |
| DT 7 | Rápido 1.4 IR |
| DT 8 | Lento 1.4 IR |
| DT 9 | Rápido 2.5 IN |
| DT 10 | Lento 2.5 IN |
| DT 11 | Rápido 5 IR |
| DT 12 | Lento 5 IR |
| DT 13 | Rápido 5 IN |
| DT 14 | Lento 5 IN |
| DT 15 | 1.4 IR Após Manobras |



| | |
|-----------------|-------------------------------------------|
| DT 16 | 2.5 IR Após Manobras |
| DT 17 | 1.4 IR Após Solicitação |
| DT 18 | 2.5 IR Após Solicitação |
| DT 19 | 1.4 IN Após Solicitação |
| DT 20 | 2.5 IN Após Solicitação |
| DT 21 | 1.4 IR Após Poder de Corte |
| DT 22 | 2.5 IR Após Poder de Corte |
| DT 23 | 1.4 IN Após Poder de Corte |
| DT 24 | 2.5 IN Após Poder de Corte |
| DT 25 | 1.4 IN a + 40°C |
| DT 26 | 1.4 IN a - 5°C |
| DT 27 | Desligar a 1.1 IN |
| DVM 3 | R 10 IN |
| DVM 4 | L 10 IN |
| DVM 5 | R 10 IR |
| DVM 6 | L 10 IR |
| DVM 11 | Rápido Neutro |
| DVM 12 | Rápido Fase L1 |
| DVM 13 | Rápido Fase L2 |
| DVM 14 | Rápido Fase L3 |
| DVM 21 | Lento Neutro |
| DVM 22 | Lento Fase L1 |
| DVM 23 | Lento Fase L2 |
| DVM 24 | Lento Fase L3 |
| DVM 25 | Corrente disparo inferior ao especificado |
| DVM 26 | Corrente disparo superior ao especificado |
| DVM 27 | Tempo disparo inferior ao especificado |
| DVM 28 | Tempo disparo superior ao especificado |
| DVM 29 | Não dispara |
| DPCB 1 | Falha de ligação mecânica |
| DPCB 2 | Falha de ligação elétrica |
| DPCB 30 | Ciclo interrompido |
| DPCB 100 | Rápido na posição 0 |
| DPCB 101 | Rápido na posição 1 |
| DPCB 102 | Rápido na posição 2 |
| DPCB 103 | Rápido na posição 3 |
| DPCB 104 | Rápido na posição 4 |
| DPCB 105 | Rápido na posição 5 |
| DPCB 106 | Rápido na posição 6 |
| DPCB 107 | Rápido na posição 7 |
| DPCB 108 | Rápido na posição 8 |
| DPCB 109 | Rápido na posição 9 |
| DPCB 110 | Lento na posição 0 |
| DPCB 111 | Lento na posição 1 |
| DPCB 112 | Lento na posição 2 |
| DPCB 113 | Lento na posição 3 |

| | |
|-----------------|-------------------------------|
| DPCB 114 | Lento na posição 4 |
| DPCB 115 | Lento na posição 5 |
| DPCB 116 | Lento na posição 6 |
| DPCB 117 | Lento na posição 7 |
| DPCB 118 | Lento na posição 8 |
| DPCB 119 | Lento na posição 9 |
| DPCB 120 | Rápido na fase L1 / L2 |
| DPCB 121 | Rápido na fase L2 / L3 |
| DPCB 122 | Rápido na fase L1 / L3 |
| DPCB 123 | Lento na fase L1 / L2 |
| DPCB 124 | Lento na fase L2 / L3 |
| DPCB 125 | Lento na fase L1 / L3 |
| DVEN 1 | Falha na entrada do neutro |
| DL 01 | Defeitos da linha de montagem |



Anexo 8 – VSM do ESTADO INICIAL E FUTURO

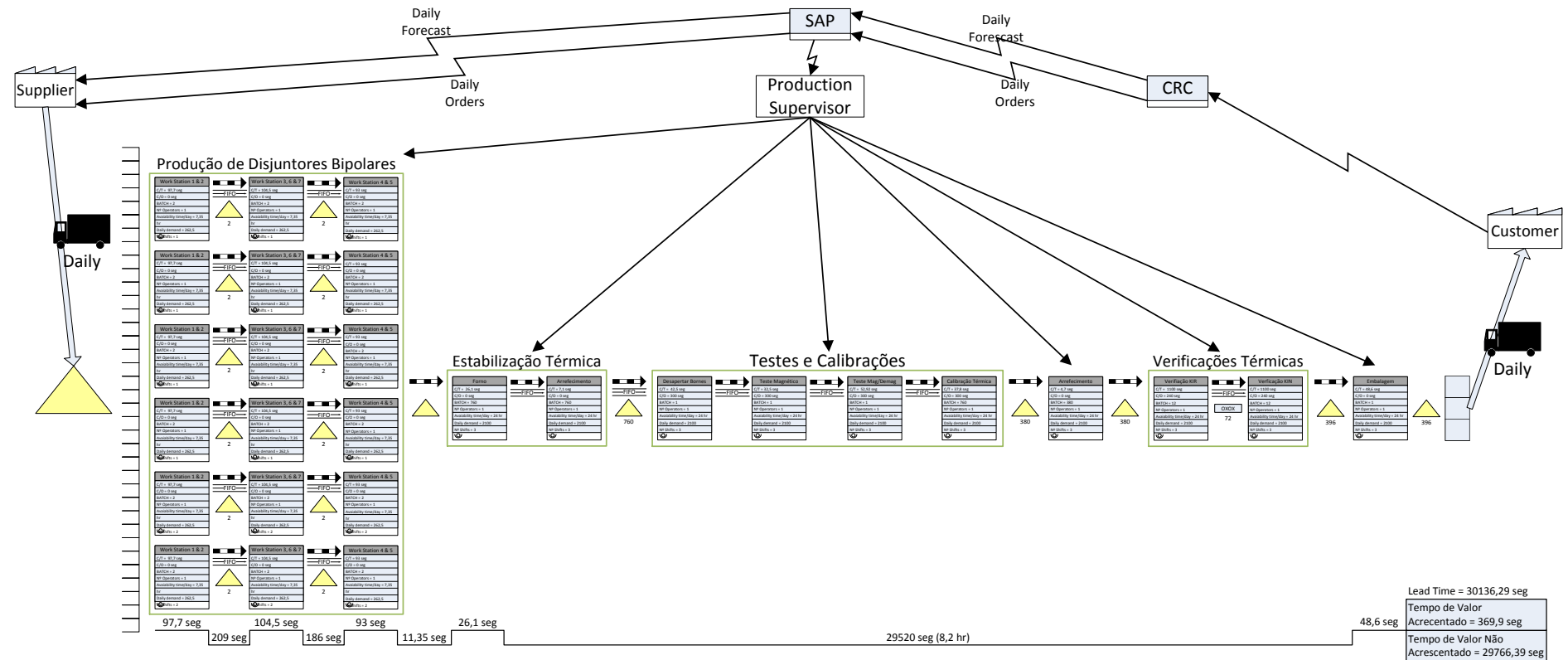


Figura 140 – VSM do Estado Inicial

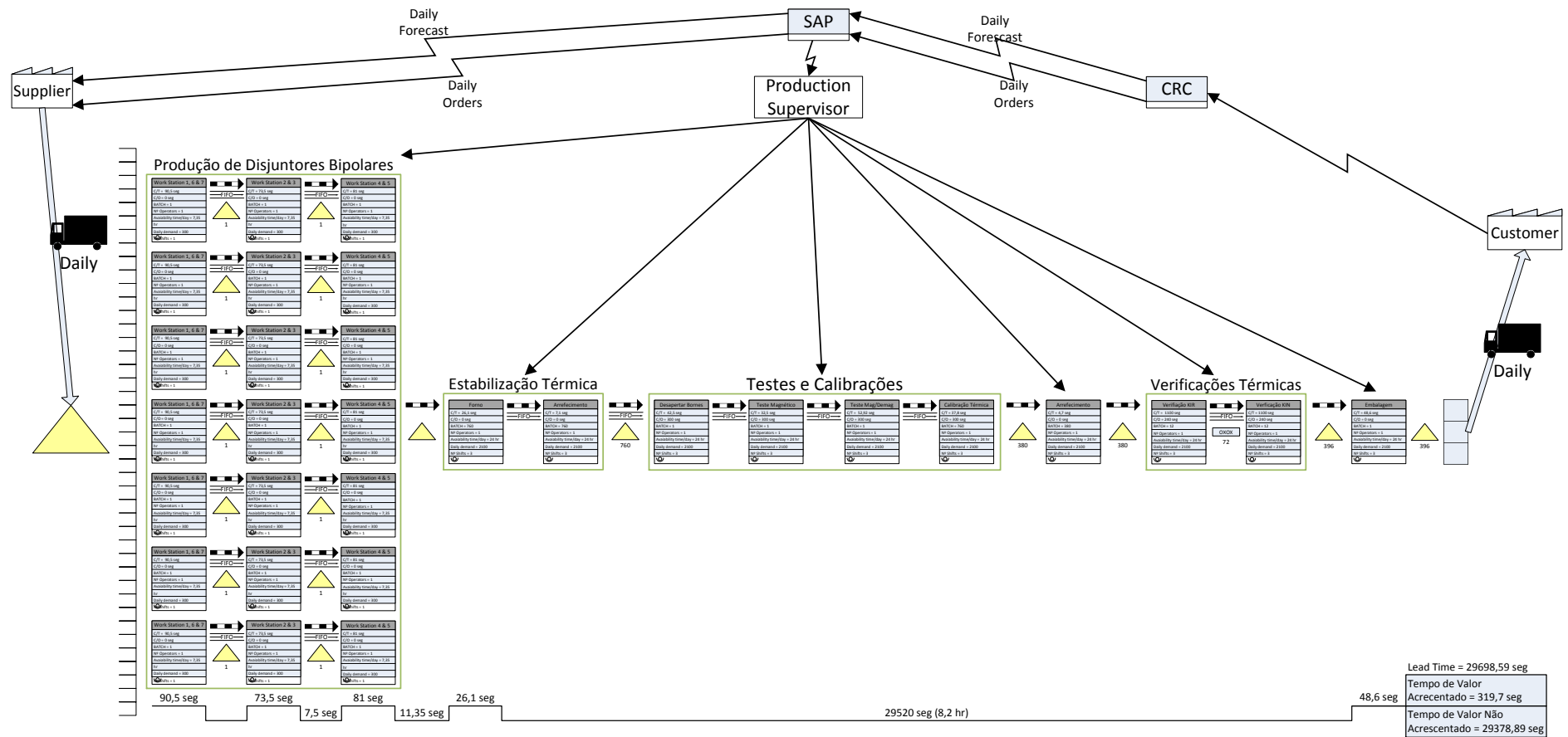


Figura 141 – VSM do Estado Futuro



Anexo 9 – TEMPO DE CICLO DO ANO 2011

Tabela 22 – Cálculo do *Takt Time* do Ano 2011

| Mês | Dias Uteis | Horas |
|-----------------------------|------------------|-----------------|
| Jan | 22 | 1293,6 |
| Fev | 20 | 1176,0 |
| Mar | 22 | 1293,6 |
| Abr | 20 | 1176,0 |
| Mai | 22 | 1293,6 |
| Jun | 19 | 1117,2 |
| Jul | 22 | 1293,6 |
| Ago | 22 | 1293,6 |
| Set | 20 | 1176,0 |
| Out | 22 | 1293,6 |
| Nov | 21 | 1234,8 |
| Dez | 20 | 1176,0 |
| Total | 252 | 14817,6 |
| Células | Horas/dia/célula | Total horas/dia |
| 4 | 7,35 | 29,4 |
| 2 | 14,7 | 29,4 |
| Total | | 58,8 |
| Qtd Produzida | | 532247 |
| Tempo de Ciclo (hr) | | 0,03 |
| Tempo de Ciclo (min) | | 1,67 |
| Tempo de Ciclo (seg) | | 100,2 |

Anexo 10 – CONTABILIZAÇÃO DO PROJETO DE REBITES

Tabela 23 – Contabilização do projeto de Rebites

| 2012 | | Savings | | | | Funding | | | | |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|------------|--------------|----------------|---------------|----------------|---------------|--|
| | Mat'l | labor | OVC | Deflation | Total | Inv | Exp | Total | | |
| | -\$5.102 | \$33.474 | \$3.757 | | \$32.129,6 | \$31.955,35 | | | \$31.955 | |
| Savings Calculations | | | | | | | | | | |
| | | Mfg Costs | | | | | Annual | Annual | 2012 | |
| SAP code | Trend Cost | DM | DL | OH | Total | Annual Qty | Savings (Eur) | Savings (USD) | Savings (USD) | |
| 2P | | -3.911,60 € | 25.664,65 € | 2.880,58 € | 24.633,62 € | 488.95 | 24.633,62 € | \$32.13 | \$32.13 | |
| \$1,30 | | | | | | | | | | |
| Materials 2P | | STD | Pcs/Device | €/Device | Year Total | Rivets Needed. | Difference | New Mat. Total | | |
| 10073676 PARAF 2P | | €1,00/100 | 3 | 0,030 € | 14.668,500 € | 4 | 7,8% | 0,045 € | 22.002,750 € | |
| 10073680 PARAF MOD 2P | | €0,55/100 | 1 | 0,006 € | 2.689,225 € | | | | | |
| 10073641 PORCA M3 | | €0,15/100 | 4 | 0,006 € | 2.933,700 € | | | | | |
| | | | | Total | 20.291,425 € | | | | | |
| Total Current Mat. | | | | | 20.291,425 € | | | | | |
| Current Labour | | Screw | Lacre | Labour | Total Labour | | | | | |
| 2P | | 16,83 | 4,20 | 0,05 € | 25.706,55 € | | | | | |
| | | | | Total | 25.706,55 € | | | | | |
| Future Labour | | | | | | | | | | |
| 2P | | 10,00 | 0 | 0,03 € | 12.223,75 € | | | | | |
| | | | | Total | 12.223,75 € | | | | | |
| | | | | Saving | 13.482,80 € | | | | | |
| Total Current Lab. | | | | | 25.706,546 € | | | | | |
| | | | | | | Total Saving | | | | |
| | | | | | | Material | | -1.711,33 € | | |
| | | | | | | Labour | | 25.664,65 € | | |
| | | | | | | OVC | | 2.880,58 € | | |
| | | | | | | | | 26.833,90 € | | |



| Labour Lacre | | Lacre Cost | | |
|--------------------------------------------|-------------------|------------|------------|-------------------|
| 2P | 5.133,98 € | Glue | Paint | |
| Total | 5.133,98 € | 28,80 € | 594,20 € | |
| Other Costs | | 75,12 € | 594,20 € | |
| Labour to mix and refill: 2,5h X 52wk X €9 | 936,00 € | 28,80 € | 594,20 € | |
| Cleaning: 5sec X €0,0025 X 489K Dev. | 6.111,88 € | 91,20 € | 594,20 € | |
| OVC (Gloves): Estimate damaged | 800,00 € | 223,92 € | 2.376,80 € | 2.080,58 € |

Rework (10%)

2P

Scrap

48895

2.200,3 €

Anexo 11 – STANDARD WORK COMBINATION SHEET PARA O DISJUNTOR 2P1545S

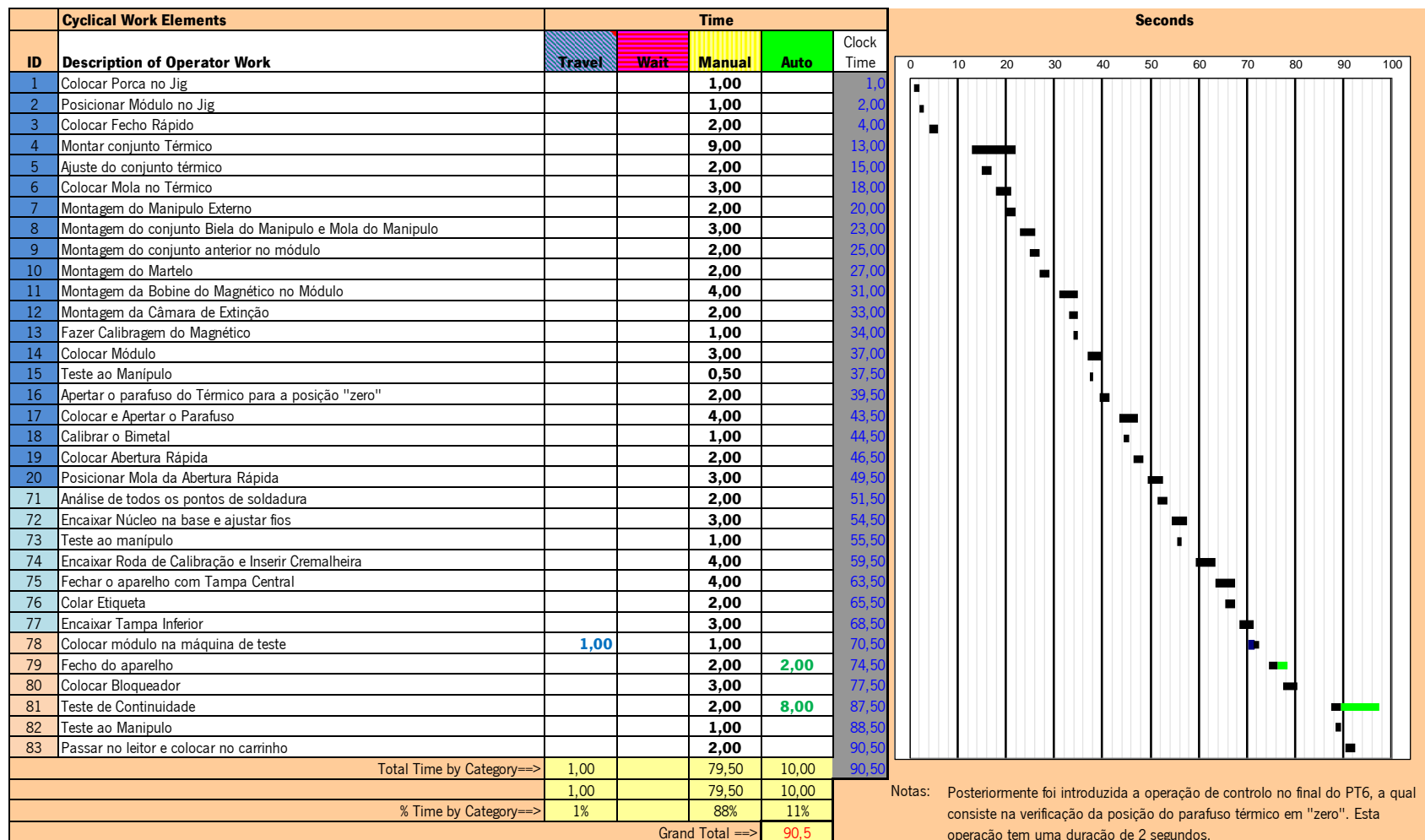


Figura 142 – SWCS do modelo 2P1545S para a Operadora 1

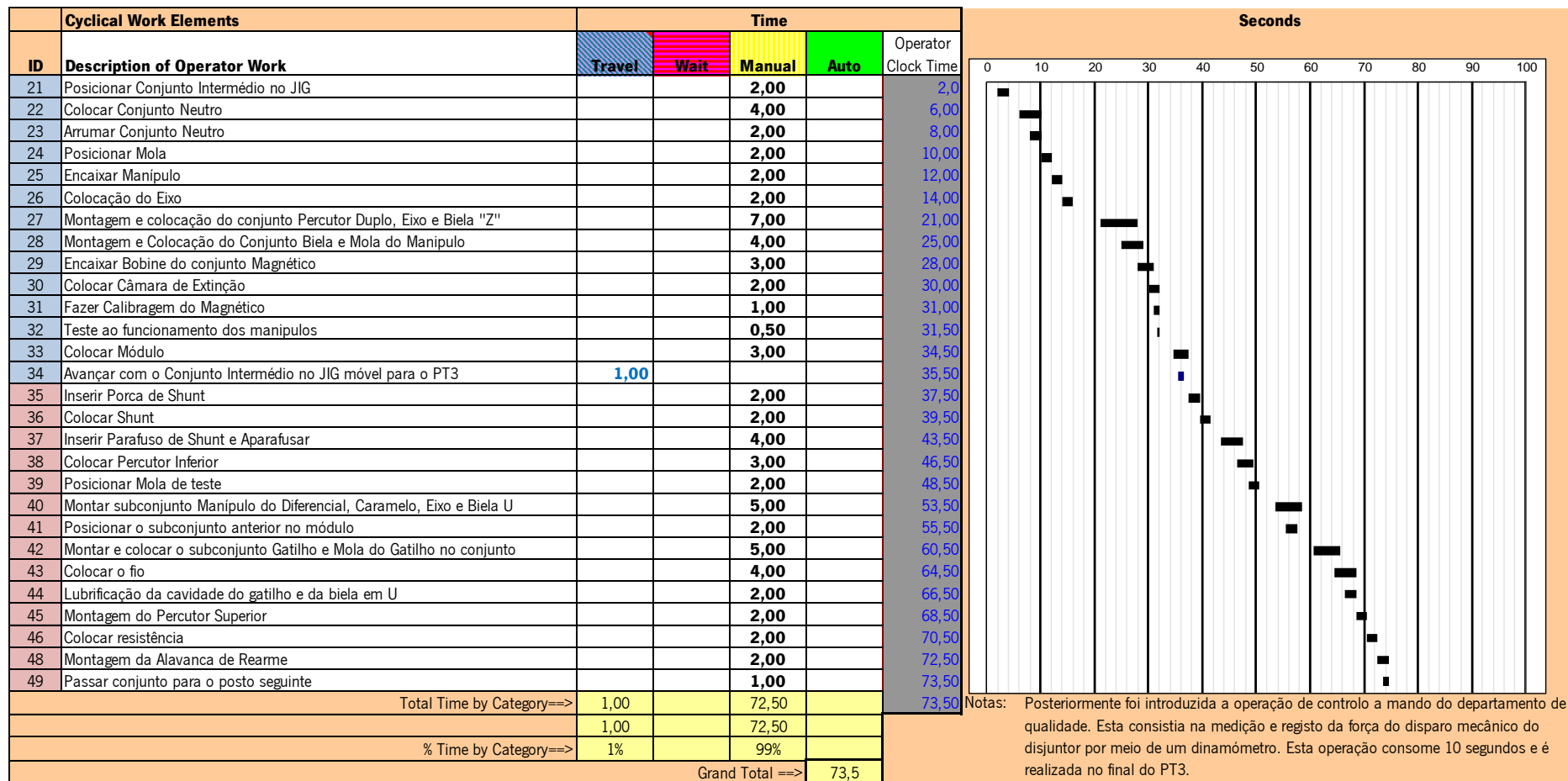


Figura 143 – SWCS do modelo 2P1545S para a Operadora 2

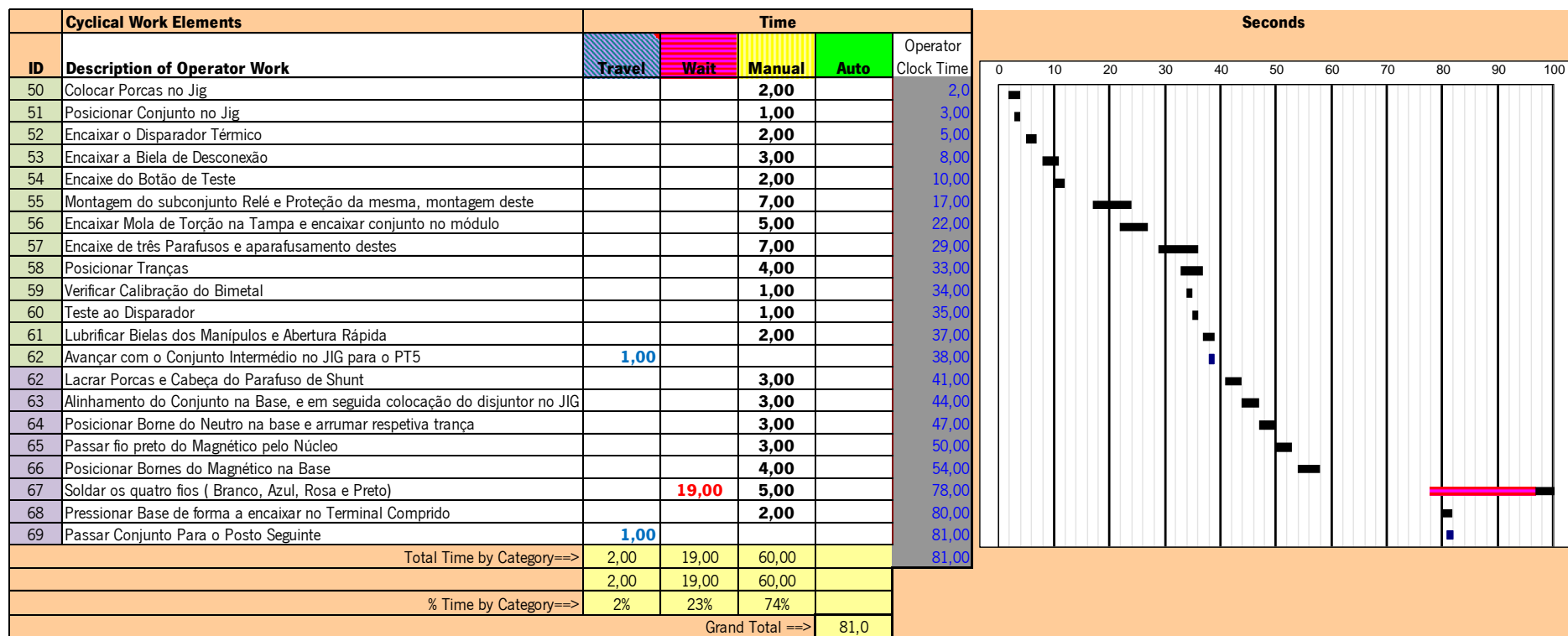


Figura 144 – SWCS do modelo 2P1545S para a Operadora 3



Anexo 12 – DISPOSIÇÃO DE COMPONENTES NAS CÉLULAS

Tabela 24 – Posição dos componentes no PT1 de cada célula

| COLUNAS | | | | | | |
|---------|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| Gama | FILAS | | | | Fecho Rápido | |
| | | Martelo | Manípulo | Parafuso | | |
| | | Mola Fina | Porca | Mola Grossa | Biela | |
| | | | | | | |
| Alfa | | | | | | |
| | | Manípulo | | Martelo | Biela | |
| | | Mola Fina | Fecho Rápido | Mola Grossa | Porca | Parafuso |
| Beta | | | | | | |
| | | Manípulo | Mola Abertura | Porca | Martelo | |
| | | Fecho Rápido | Mola Fina | Parafuso | Biela | Mola Grossa |
| Eta | | | | | | |
| | | Camaras | Biela | Mola Fina | Fecho Rápido | |
| | | Parafuso | Manípulo | Percutor | | |
| | | Mola Fina | Mola Grossa | Fecho Rápido | Porca | |
| Zeta | | | | | Parafuso | |
| | | | Martelo | Manípulo | | |
| | Mola Grossa | Mola Fina | Porca | Fecho Rápido | Biela | |
| | | | | | | |

Tabela 25 – Posição dos componentes no PT2 de cada célula

| COLUNAS | | | | | | | |
|----------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|---------|----------|
| Gam a | FILAS | | Mola Abertura | Abertura | | | |
| | | Percutor Martelo | Manípulo | Eixo Grande | | | |
| | | Mola Fina | Eixo Pequeno | Mola Grossa | Biela Z | Biela | |
| | | | | | | | |
| Alfa | | | | | | | |
| | | | Manípulo | Percutor Martelo | Eixo Grande | Biela | |
| | | Mola Abertura | Mola Fina | Eixo Pequeno | Mola Grossa | Biela Z | Abertura |
| | | | | | | | |
| Beta | | | | | | | |
| | Eixo Grande | Manípulo | Biela | Mola Grossa | | | |
| | Mola Fina | Eixo Pequeno | Percutor Martelo | Biela Z | | | |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----------|-----------------|-----------------|
| Eta | Biela | Biela Z | Mola Abertura | Eixo Pequeno | Mola Fina | Mola Grossa | Abertura Rápida |
| | Câmara | Eixo Grande | Martelo | Manipulo | Neutro | | |
| | Mola Fina | Mola Abertura | Mola Grossa | Eixo Pequeno | Biela Z | | Abertura Rápida |
| Zeta | | | | | | | |
| | Percutor | Martelo | Manipulo | Eixo Grande | | | |
| | Eixo Pequeno | Mola Grossa | Mola Fina | Biela Z | Biela | Abertura Rápida | |

Tabela 26 – Posição dos componentes no PT3 de cada célula

| COLUNAS | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|------------|
| Gama | Alavanca Rele | Fio Branco | | | | | Resistência | | |
| | | | | Manipulo | Gatilho | Caramelo | Mola Gatilho | Mola Teste | |
| | 7 | Braço | Mola Braço | Eixo | Biela U | Shunt | Porca SH | Andorinha | |
| Alfa | | | | | | Mola Alavanca | | | |
| | | | | | 7 | | | | |
| | Alavanca | Gatilho | Manipulo | Caramelo | Mola Gatilho | Shunt | Porca Sh | | |
| | Mola Fina | Eixo | Biela U | Mola Alavanca | Andorinha | | | | |
| Beta | Fio Branco | | | | Resistência | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | Fio Branco | Alavanca | Gatilho | Manipulo | Andorinha | Caramelo | Mola Gatilho | Mola Teste |
| | 7 | Porca Sh | Resistência | Braço | Mola Fina | Eixo Pequeno | Biela U | Mola Alavanca | Shunt |
| Eta | | | | | | | | | |
| | 7 | Alavanca | Fio Branco | Manipulo | Caramelo | Mola Gatilho | Mola Teste | Percutor Superior | |
| | Resistência | Gatilho | Mola Fina | Eixo Pequeno | Biela U | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Zeta | | | | | | | | | |
| | Alavanca | Braço | Gatilho | Manipulo | Caramelo | Mola Alavanca | Andorinha | 7 | Mola Teste |
| | Resistência | Braço | Mola Fina | Mola Alavanca | Eixo | Biela U | | | |

Tabela 27 – Posição dos componentes no PT3 de cada célula

| COLUNAS | | | | | | | |
|-------------|------------------|--------------|------------------|---------------|--------------|--|--|
| Gama | Rele | | Mola Transmissão | | | | |
| | Rele | Parafuso | Rele | Transmissão | | | |
| | Botão Teste | Biela Grande | Porcas | | | | |
| | | | | | | | |
| Alfa | Relé | | | | | | |
| | Módulo | Parafuso | Transmissão | Proteção Relé | | | |
| | Mola Transmissão | Módulo | Botão Teste | Porca | Biela Grande | | |



| | | | | | | | |
|-------------|--------|--------------|--------------|------------------|--------------|------------------|-------------|
| | | | | | | | |
| Beta | | | | | | | |
| | Relé | Módulo | | | | Mola Transmissão | |
| | | | Botão Teste | Porcas | Viela Grande | Proteção Relé | Transmissão |
| Eta | | | | | | | |
| | Relé | Módulo | Parafusos | Proteção Relé | | | |
| | | Botão Teste | Viela Grande | Mola Transmissão | | | |
| Zeta | Relé | | | | Proteção | | |
| | Módulo | Parafuso | Parafusos | Transmissão | | | |
| | | Biela Grande | Porcas | Mola Transmissão | | | |

Anexo 13 – DISPOSIÇÃO NORMALIZADA DE COMPONENTES

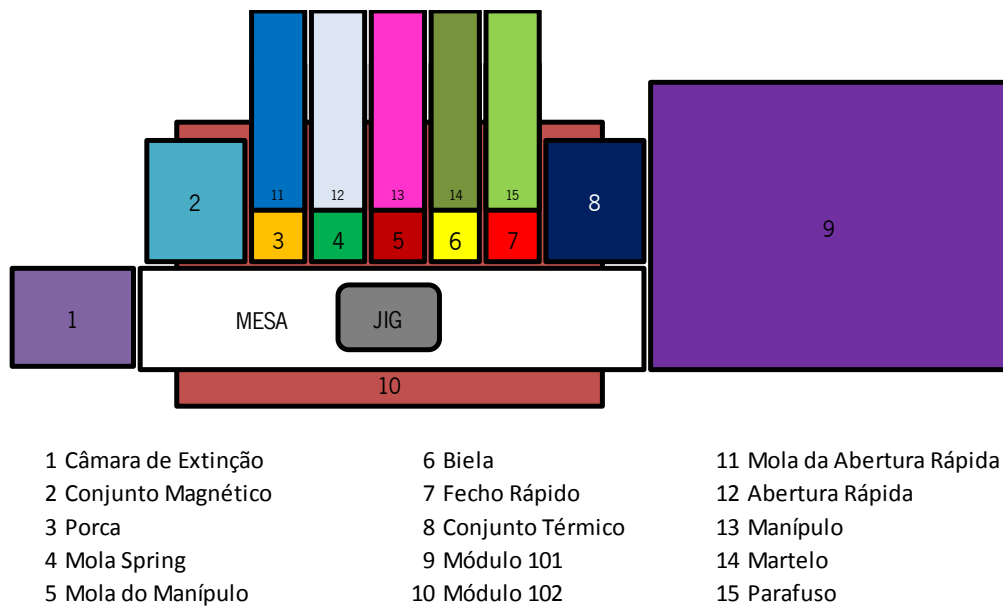


Figura 145 – Disposição normalizada de componentes no PT1

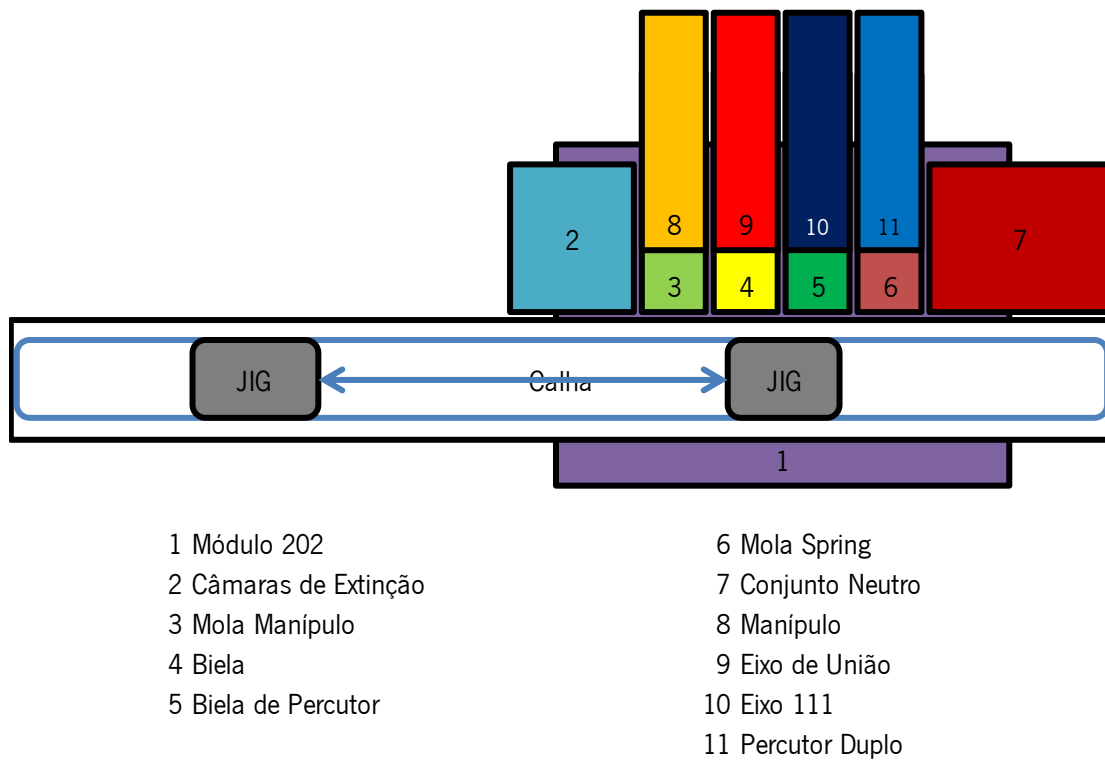
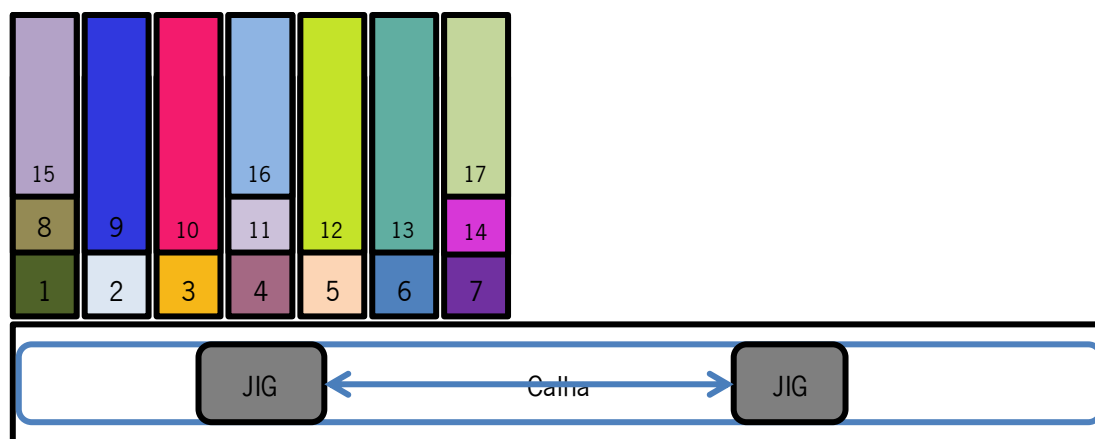
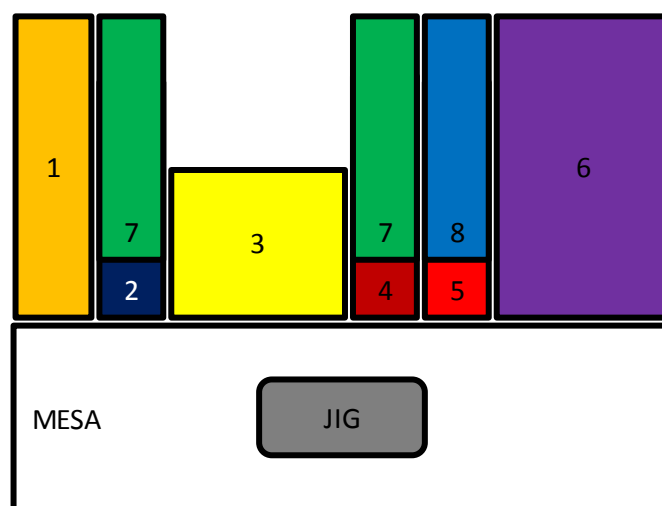


Figura 146 – Disposição normalizada de componentes no PT2



- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1 Gatilho MD | 10 Mola da Alavanca de Desconexão |
| 2 Alavanca de Rearme | 11 Eixo 112 |
| 3 Manipulo Diferencial | 12 Biela Rebatida U |
| 4 Caramelo Negro | 13 Alavanca de Disparo |
| 5 Percutor Inferior | 14 Mola Manipulo |
| 6 Mola de Torção do Gatilho | 15 Fio Branco |
| 7 Percutor Superior | 16 Resistência |
| 8 Porca Shunt | 17 Mola de Teste |
| 9 Parafuso Shunt | |

Figura 147 – Disposição normalizada de componentes no PT3



- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1 Relés | 5 Mola de Recuperação |
| 2 Botão de Teste | 6 Transmissão Térmica |
| 3 Módulo 104 | 7 Parafusos |
| 4 Biela de Desconexão | 8 Proteção do Relé |

Figura 148 – Disposição normalizada de componentes no PT4

O PT5 não sofreu nenhuma alteração em relação à disposição do único componente que contempla. Quanto ao PT6 este sofreu apenas uma alteração a nível ergonómico do posicionamento dos componentes denominados “Fundos”. O componente Bloqueador encontra-se agora numa posição mais


central entre o PT6 e PT7, permitindo fácil acesso a este caso o equipamento de teste em uso seja o laranja ou o cinzento, implicando a montagem deste antes do teste ou no teste. Estas últimas alterações estão apresentadas nas subsecções 5.9.3 e 5.9.4.



Anexo 14 – CUSTO DOS MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DAS NOVAS CÉLULAS

Tabela 28 – Contabilização do Custo dos Materiais para construir as Novas Células

| DESIGNAÇÃO | CÓDIGO | PEÇA | CÔR | UN/€ | Quantidade | Total | Peso (Kg/UNI) | Peso | Quantidade por caixa |
|-----------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------|------------|------------|---------------|---------|----------------------|
| TUBO AÇO PLASTIFICADO (4m) | T-2810B |  | Branco | 11,24 € | 254 | 2.854,96 € | 3,180 | 807,720 | 10 |
| JUNTA METÁLICA | J-01P |  | Preto | 0,57 € | 2310 | 1.316,70 € | 0,073 | 168,630 | 180 |
| JUNTA METÁLICA | J-02P |  | Preto | 0,72 € | 609 | 438,48 € | 0,090 | 54,810 | 90 |
| JUNTA METÁLICA | J-03P |  | Preto | 0,91 € | 553 | 503,23 € | 0,125 | 69,125 | 50 |
| JUNTA METÁLICA | J-04P |  | Preto | 0,84 € | 70 | 58,80 € | 0,105 | 7,350 | 120 |
| JUNTA METÁLICA | J-07AP |  | Preto | 0,53 € | 126 | 66,78 € | 0,510 | 64,260 | 180 |
| JUNTA METÁLICA | J-07BP |  | Preto | 0,59 € | 112 | 66,08 € | 0,061 | 6,832 | 180 |
| JUNTA METÁLICA | J-16P* |  | Preto | 0,51 € | 350 | 178,50 € | 0,049 | 17,150 | 200 |
| JUNTA METÁLICA | J-12P |  | Preto | | 112 | | 0,063 | | |
| JUNTA METÁLICA | PL-12P |  | Branco | | 56 | | | | |
| ROLOS 40mm (4m) | R-40B |  | Rolos: Branco Estrutura: Cinza | 28,52 € | 37 | 1.055,24 € | 5,500 | 203,500 | 10 |

| | | | | | | | | | |
|------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|------|-------------------|-------------------|-----------------|-------|
| Guia Plástica 4Mtrs | C-40BE |  | Marfim | 24,64 € | 25 | 616,00 € | 4,000 | 100,000 | 4 |
| SUPORTE P/ ROLOS | JR-AM |  | Prateado | 1,43 € | 210 | 300,30 € | 0,164 | 34,440 | 50 |
| SUPORTE P/ ROLOS | JR-BM |  | Prateado | 2,03 € | 70 | 142,10 € | 0,200 | 14,000 | 30 |
| SUPORTE P/ ROLOS | JR-DM |  | Prateado | 1,54 € | 168 | 258,72 € | 0,180 | 30,240 | 30 |
| TERMINAL PLÁSTICO | PL-04P |  | Preto | 0,08 € | 959 | 76,72 € | 0,002 | 1,918 | 250 |
| PARAFUSO (M6 x 25 - thread:15 mm) | PM6-P |  | Preto | 0,06 € | 1589 | 95,34 € | 0,007 | 11,123 | 1.600 |
| PORCA T | FM6-P |  | Preto | 0,05 € | 2114 | 105,70 € | 0,002 | 3,594 | 5.000 |
| | | | | Total material | | 8.133,65 € | Peso Total | 1.594,69 | |